





HEILUNG

HÖCHSTGRADIGER

KURZSICHTIGKEIT

NEBST ANGABE EINER LEICHTFASSLICHEN METHODE ZUR

SCHNELLEN BERECHNUNG DER AXENLÄNGE, OPTISCHEN CONSTANTEN DES AUGES UND BILDGRÖSSE

VON

DR. V. FUKALA
IN WIEN.

MIT 28 HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG UND WIEN.
FRANZ DEUTICKE.
1896.

Verlags-Nr. 499.

DEN MANEN

SEINES HOCHVEREHRTEN LEHRERS

WEILAND HOFRATH PROFESSOR

DR. FERDINAND RITTER VON ARLT

IN DANKBARER ERINNERUNG

GEWIDMET

VOM VERFASSER.

II. Theil.

Corrigenda.

Seite 12, Zeile 10 von unten, lese man statt „scharfe": „schwache".
„ 14, „ 4 „ „ „ „ „ „etc.": „etc. ab".
„ 17, letzte Zeile, statt „entstandenes Bild": „entstandenes Bild vor".
„ 27, Zeile 4 von unten, statt „welche": „welcher".
„ 53, „ 17 „ oben, statt „mehreremals": „mehrmals".
„ 62, „ 3 „ „ „ „Sehproben": „die Sehschärfe".
„ 116, „ 16 „ unten, „ „Fig. 7": „Fig. 6".
„ 126, „ 10 „ oben, fällt bei α das Minuszeichen „—" weg.
„ 138, „ 4 „ „ statt „Strahl $a'b'$": „Strahl a' 5".

Einleitung

nebst Bemerkung zur Operation hochgradiger Kurzsichtigkeit und Berechnungen der Axenlänge und Cardinalpunkte des Auges.

Der Zweck dieser Arbeit ist ein zweifacher, und besteht demnach dieselbe aus zwei Theilen.

Im ersten Theil will ich das Ergebniss aller bisher ausgeführten und publicirten Operationen höchstgradiger Kurzsichtigkeit, welche zerstreut in verschiedenen Werken und Journalen veröffentlicht worden sind, zusammenfassen, um dadurch ein endgiltiges Urtheil über die Operationsmethoden, ihre Vortheile, das Sehen im aphakischen Zustande und den Wert stellen zu können.

Auch die Geschichte der operativen Behandlung der Myopie habe ich hier angeführt, soweit dieselbe in älteren und neueren Werken enthalten ist.

Von grosser, vielleicht noch grösserer Wichtigkeit ist für uns **der zweite Theil**: Die Berechnung der optischen Constanten, Axenlänge des Auges und Bildgrösse.

Ich habe mir darin die Aufgabe gestellt, genannte Werte nach einer leichtfasslichen Methode, schnell und bequem berechnen zu können. Die Berechnung soll keine besonderen Kenntnisse der Mathematik und Geometrie erfordern. Denn wir wissen, dass praktische Aerzte mathematische Wissenschaften nicht cultiviren können, da das medicinische Material, welches sie sich im Laufe der Studienjahre anzueignen haben, so bedeutend ist, dass zu

besonderen Studien der Mathematik keine Zeit mehr übrig bleiben kann.

Ich habe mich daher vielmehr bestrebt, genanntes Ziel auf ganz einfachem Wege erreichen zu können, wozu nicht mehr nöthig ist, als die Kenntniss der vier Grundrechnungsarten der Decimalbrüche; mit der Multiplication und Division können wir dies alles schnell ausrechnen.

Vorerst handelt es sich um die Angabe einer Methode, wie man schnell und leicht zum Ziele kommt. Die geehrten Leser dürfen nicht glauben, dass ich ihnen eine grosse Reihe mathematischer Formeln vorzuführen gedenke, zu deren Verständniss ein tieferes Studium erforderlich ist, wie man dies etwa bei Nagel, Helmholtz u. a. findet.

Unsere hervorragende Fachgelehrten, wie Helmholtz, Nagel, Aubert u. a. haben dieses Thema allerdings in sehr wissenschaftlicher Weise behandelt. Um ihre Werke jedoch verstehen und den Gang ihrer Darstellungsweise in gehöriger Weise verfolgen zu können, gehören vor allem grosse mathematisch-physikalische Kenntnisse; es gehören ausserordentlich viel Fleiss, Aufmerksamkeit und Zeit dazu. Auch praktische Uebungen im optisch - physikalischen Laboratorium, sowie eine Reihe von Werkzeugen sind dazu unbedingt erforderlich. Daher ist es nicht zu wundern, dass, wenn ein Anfänger, Arzt, selbst Augenarzt, die voluminösen Werke derselben in die Hand nimmt, er sofort schon nach einer oberflächlichen Durchsicht den Muth zu weiteren Studien verliert; es bleibt daher wieder alles beim Alten.

Dass diese Schilderung eine richtige ist, sehen wir in dem Bekenntnisse, welches Donders in dem Vorwort seines classischen Werkes über die Refractions- und Accommodationsanomalien niedergeschrieben hat. Am Ende der zweiten Seite schreibt Donders: „Für den Augenarzt ist es vielleicht ein Vortheil, dass ich nicht Mathematiker bin. Ich gestehe offen, dass ich den Untersuchungen von Gauss und Bessel nicht zu folgen vermag, und

dass mir selbst das Studium des dioptrischen Theils der physiologischen Optik von Helmholtz einige Anstrengung kostete.“

Diese Erklärung von Donders ist gewiss nicht ermuthigend und nicht geeignet, junge Aerzte zum diesbezüglichen Studium anzueifern.

Vor allem drängt sich hier die Frage auf, ob das Studium der nöthigen Dioptrik und die Berechnung der Länge des Auges nicht erleichtert und vereinfacht werden könnte?

Die nachfolgenden Berechnungen berechtigen mich, diese Frage von vornherein **zu bejahen**. Ich erlaube mir hier meinen Ausspruch durch ein kleines Beispiel zu erläutern. Ein Myope hält vor seinem Auge ein Concavglas von —18 D. durch welches er genau in die Ferne sieht; wie gross ist die Axe seines Auges? Antwort: Wir berechnen es nach der Formel

$$s = \frac{\varphi_{\prime\prime}\,(f-d)}{\varphi_{\prime} + f - d}$$

Hiebei bedeutet s die Axenlänge, $\varphi_{\prime}$ und $\varphi_{\prime\prime}$ beide bereits berechneten Brennweiten des normalen Auges, welche 15·498 und 20·713 *mm* betragen; f bedeutet die (hier negative) Brennweite des Concavglases, welche — 55·56 gleich ist, und d die Entfernung des Concavglases von der Cornea, + 1·75 vom 1. Hauptpunkt; daher

$$s = \frac{20{\cdot}71 \times (58{\cdot}31)}{15{\cdot}498 - 55{\cdot}56 - 2{\cdot}75} = 30{\cdot}318.$$

also beträgt die Axe des Auges 30·318 *mm*.

Ebenso leicht lassen sich die übrigen, für uns wichtigen Werte berechnen.

Jeder Augenarzt wird zugeben, dass die Berechnung der Axenlänge, die Vergrösserung oder Verkleinerung der Netzhautbilder durch das Vorsetzen eines Convex- oder Concavglases bei der Refractionslehre von grosser Wichtigkeit

ist. Wir wissen, dass die Myopie auf Verlängerung beruht; es ist aber auch ebenso bekannt, dass zwischen dem Myopiegrad und der Axenlänge eine gewisse Relation besteht; und wenn wir die Refractionsanomalien wissenschaftlich behandeln, dann wäre es gewiss von Interesse, auch zu erfahren, wie lang der Augapfel in einem gegebenen Falle ist.

Trotzdem möchte ich mir erlauben zu bemerken, dass dieses Thema bisher sehr stiefmütterlich behandelt worden ist. Bis auf einige hervorragende, jedoch voluminöse Werke enthalten nur wenige die Methode, wie Cardinalpunkte zu berechnen sind. Im classischen und hervorragenden Werke von Donders, welcher die Anomalien der Refraction bis ins Kleinste behandelt, vermissen wir leider das Besagte.

Wir verfügen in der Ophthalmologie über eine zahlreiche Literatur des gesammten Materials; wir besitzen prachtvolle Lehrbücher der Augenheilkunde, gediegene Compendien eines jeden Zweiges, viele Archive und ähnliche Werke; aber nur sehr wenige enthalten einen Wegweiser zu genannten Berechnungen. So lange jedoch die Berechnungen der Cardinalpunkte als ein schwer oder nicht erreichbares Thema gelten, so lange dürfen wir nicht hoffen, dass sie ein Gemeingut der Aerzte werden können.

Die Bearbeitung dieses Themas habe ich so eingetheilt, dass, wie naturgemäss, der Theil der praktischen Berechnungen am Schlusse des Werkes zu finden sein wird. Wer hiemit nur das Ziel anstrebt, fragliche Berechnungen ausführen zu können, der braucht einige der angeführten Beispiele durchzumachen und wird sofort das Gewünschte finden.

Doch brauche ich hier nicht anzuführen, dass derjenige, der neben dem praktischen Theil auch die Grundlagen, auf welchen die Berechnungen beruhen, sucht, vorerst die Grundprincipien der Dioptrik durchmachen müsste, um die Kette des inneren Zusammenhanges verstehen zu können. Diese Formeln erfordern die Kenntniss der Mathematik

und Geometrie. Die Entwicklung der wichtigsten Formeln habe ich nach Möglichkeit angeführt.

Ausserdem, dass eine gewisse Kenntniss der Dioptrik jedem Augenarzt nothwendig ist, ist sie nebstbei sehr interessant; denn mit ihrer Hilfe verstehen wir, wieso es kommt, dass ein convexes oder concaves Glas vergrössert oder verkleinert; auch die Wirkung zusammengesetzter Instrumente, mit denen Aerzte fast täglich umgehen, wie eines Mikroskopes oder Opernglases, beruht auf den einfachen Gesetzen der Dioptrik. Wir werden dies im Verlaufe der Abhandlung sehen.

Ich habe mich sehr bemüht, bei der Erklärung mich recht verständlich auszudrücken. Um dies sicherer erreichen zu können, habe ich eine grössere Anzahl von sehr sorgfältig ausgeführten Holzschnitten anfertigen lassen. Wir wissen nämlich aus Erfahrung, dass man oft, um Jemandem etwas verständlich zu machen, diesen Zweck mit einer kleinen erläuternden Zeichnung viel eher erreicht, als mit einem grossen Aufwand von Worten. Dies gilt besonders vom Studium der Dioptrik des Auges.



ERSTER THEIL.

OPERATIVE BEHANDLUNG HÖCHSTGRADIGER MYOPIE DURCH DISCISION UND EXTRACTION DER LINSE.



I. Beschwerden höchstgradiger Kurzsichtigkeit.

(Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf den Litteraturbericht.)

Vor mehr als zwei Decennien hatte ich die Idee gefasst, die Linse höchstgradiger junger Myopen durch Discision zu beseitigen. Die nächste Veranlassung zu diesem Gedanken waren zahlreiche Klagen von jungen Myopen und deren Eltern, die oft rathlos waren, welchen Beruf sie wählen sollen. Auch consultirten mich häufig Erwachsene, Studierende und Handwerker, ob es nicht irgend ein Mittel gäbe, ihnen zur Verbesserung ihres Augenlichtes zu verhelfen, da sie sonst ihren Beruf aufgeben müssten, und infolge ihrer Erwerbsunfähigkeit subsistenzlos wären.

Bemittelte Leute können sich leichter in ihre Lage finden, da sie auf Erwerb nicht angewiesen sind. Desto trauriger ist aber die Situation derjenigen, die kein Vermögen besitzen, oder zwar einen guten Verdienst haben, deren Existenz aber nur von ihrer Arbeitsfähigkeit abhängig ist. Viele von ihnen haben nach langjährigen Studien und nicht unbedeutenden Opfern ihr Ziel erreicht; manche Eltern opfern zu diesem Zwecke die mühsam erworbenen Ersparnisse, um ihren Söhnen die kostspieligen Studien zu ermöglichen; und nun tritt am Ziel das traurige Schicksal ein, dass infolge der zunehmenden Kurzsichtigkeit der Betreffende, statt die Frucht seiner vielen Mühen und Auslagen zu geniessen, nicht mehr im Stande ist, seinen Beruf auszuüben. Was sollen die Männer im gereiften Alter, Familienväter anfangen, und wie

sich und ihre Familie ernähren? Zahlreich sind ferner die Fälle, dass Männer, die ihr Handwerk meisterhaft beherrschen, schon in jungen Jahren infolge ihrer Myopie dahingekommen sind, dasselbe aufgeben zu müssen. Ich führe hier als Beispiel an, dass Geheimrath v. Hippel am Congress in Heidelberg 1893 eines jungen Handwerkers erwähnte, welcher infolge seiner Kurzsichtigkeit schon im 23. Lebensjahre sein Handwerk aufgeben musste, da ihn niemand wegen seiner Augen mehr in Arbeit nehmen wollte; v. Hippel operirte ihn an beiden Augen, — und er ist heute im Besitze seiner guten Sehkraft und befindet sich als geschickter Arbeiter in sehr guten Verhältnissen. Solche Fälle kommen zahlreich vor, doch unterlasse ich weiteres Citiren, da es uns zu weit führen würde.

Mit Recht kann man daher sagen, dass diese Frage nicht nur vom oculistischen, sondern auch vom **socialen** Standpunkt von grösster Bedeutung ist; denn es werden durch dieses Verfahren viele junge und ältere Leute, die sonst gesund und kräftig, jedoch wegen ihrer Kurzsichtigkeit erwerbsunfähig geworden sind, daher ihren Angehörigen und Gemeinden zur Last fallen müssten, wieder fähig, ihren Beruf ausüben zu können.

Höchstgradige Myopie ist ein recht verbreitetes Uebel, welches bei Jungen und Alten, Stadt- und Landbewohnern, bei reichen und ärmsten Leuten häufig genug vorkommt. Die Meinung, dass dieselbe nur im gelehrten Stande vorherrschend wäre, also bei Personen, die sich viel mit Lesen und Betrachten kleiner Gegenstände befassen, beruht auf einem Irrthum; denn sie kommt auch bei Landleuten, die oft genug sogar des Lesens und Schreibens unkundig sind, sowie auch bei Taglöhnern etc., also auch bei solchen, die sich nie mit feinen Arbeiten oder mit sehr kleinen Gegenständen (Sticken, Nähen etc.) befassen, vor.

Was zunächst die subjectiven Leiden dieser Unglücklichen betrifft, sind dieselben sehr bedeutend; vor allem sehen sie alles vor sich wie in einem Nebel, wie mit Wolken bedeckt; einzelne Gegenstände auf einer Strasse können sie nicht von einander unterscheiden. Donders (1) schreibt darüber: „Viel grösser sind bei diesen hohen Graden von Myopie noch die Beschwerden des Undeutlichsehens in die Ferne. Der Emmetrop kann sich davon eine Vorstellung machen, wenn er ein starkes Convexglas von 20 Diop. vor das Auge hält, und wird überrascht sein, wie geduldig sich gewöhnlich die Myopen in ihr Schicksal ergeben. Zugleich werden ihm aber viele Eigenthümlichkeiten der Myopen, die sich nicht frühzeitig an Brillen gewöhnt haben, nicht länger ein Räthsel sein.“

Auf der Strasse bewegen sie sich sehr unsicher, da sie etwaige Unebenheiten nicht bemerken; Steine oder Vertiefungen können sie ebenfalls nicht wahrnehmen, und haben daher einen auffallend unsicheren Gang. Ebenso peinlich ist es für sie, über eine Stiege zu gehen, da sie die einzelnen Abstufungen nicht sehen und durch Tasten mit dem Fuss sich aushelfen müssen. An bekannten Orten orientieren sie sich gleich den Blinden gut, aber an unbekannten Strassen fehlt die nöthige Sicherheit. Dies steigert sich noch am Rande eines abfallenden Trottoirs, da es öfters vorkommt, dass sie den Rand nicht sehen und fallen. Dazu müssen wir berücksichtigen, dass hohe Myopen immer eine herabgesetzte Sehschärfe haben und bei bester Beleuchtung schlechter als Emmetropen sehen; daher ist es begreiflich, dass die Unsicherheit im Freien abends entsprechend zunimmt. — In öffentlichen Localitäten, Gewölbsläden erscheint es Vielen komisch, wenn Kurzsichtige sich bis auf den Tisch neigen, um Gegenstände näher zu betrachten.

Vielen Unannehmlichkeiten sind höchstgradige Myopen dadurch ausgesetzt, dass sie die Gesichter der Menschen nicht erkennen. Denn durch Unterlassen des schuldigen Grusses

setzen sie sich Unannehmlichkeiten aus, die selbst schwere Folgen nach sich ziehen können, z. B. wenn junge Beamte ihre Vorgesetzten nicht grüssen. Ein Myope erzählte mir, dass er seine Bekannten nur an den Kleidern erkenne; er versicherte mich, dass er bereits ein halbes Jahr die Schule besuchte und nicht wusste, wie sein Lehrer aussehe. Ein zweiter erzählte, dass er seinen Vorgesetzten nur an dessen lichtem Rocke erkannte und deshalb alle Herren auf der Strasse, die einen lichten Rock hatten, grüsste, da er dachte, dass sein Vorgesetzter einer derselben sein könnte. Ebenso unangenehm ist es, wenn hochgestellte Persönlichkeiten infolge Verwechslung ihre Dienstleute grüssen, da so ein Benehmen geradezu Aufsehen erregt. So erzählte mir ein Ober-Postverwalter, dass er die Kinder seines Collegen nur am Matrosenanzug erkannt hat; da traf er eines Tages auf der Strasse seine Hausbesorgerin, deren Knaben gleichfalls neue Matrosenanzüge hatten; dies veranlasste ihn, die mit den Knaben gehende Frau ehrerbietig zu grüssen; doch als er mit ihr ein Gespräch beginnen wollte, war er natürlich in einer unangenehmen Verlegenheit.

Aber auch in mancher anderen Beziehung verursacht hohe Kurzsichtigkeit den damit Behafteten namhafte Leiden. Zunächst müssen sie vielen Freuden des Lebens entsagen, welche Menschen mit normalen Augen, selbst Kurzsichtige mittleren Grades geniessen können; denn da sie starke Gläser für die Ferne nicht vertragen können und scharfe ihnen nichts nützen, müssen sie auf den Anblick der schönen Welt, einer Landschaft, Stadt, u. dgl. verzichten. Sie können sich der herrlichen Ansicht der Sculpturen, einer schönen Kirche, Monumente, schöner Malereien etc. nicht erfreuen und müssen sich nur mit dem begnügen, was ihr Auge in unmittelbarster Nähe sieht. Ja, ihre Entsagung geht oft noch weiter, — sie wissen oft sogar nicht, wie ihre allernächste Umgebung aussieht. So erwähnt Prof. Vossius in seiner letzten Publication über Myopieoperationen eines Falles höchst-

gradiger Myopie von 30 Dioptrien; derselbe betraf einen Studiosus juris, welcher nach der Heilung nahezu emmetropische Einstellung bekam und erstaunt war, dass sein Vater braune Augen hatte, während er sie früher immer für blau gehalten hatte (2).

Und nun kommt die schwierigste Frage bei höchstgradigen Myopen: die Wahl des Berufes; welchem Stande sollen sie sich widmen? Zum Studieren passen sie nicht, da dies das geeigneteste Mittel zur Zunahme der Kurzsichtigkeit ist; auch jedes Handwerk erfordert eine Fernsicht von wenigstens 30 *cm*. Zum Taglohn, Landwirtschaft eignen sie sich gleichfalls schlecht, da sie den Boden unter sich nicht sehen und nicht im Stande sind, ein Feld zu überblicken. Es sind daher Eltern, welche unglückliche myopische Kinder haben, bei der Wahl des Berufes in grösster Verlegenheit. Der Ausspruch ist daher berechtigt, dass es sich hier um eine sociale Frage handle, um vielen erwerbsunfähigen Menschen, welche ihren Angehörigen und Gemeinden zur Last fallen, sonst aber gesund und arbeitskräftig sind, zu ihrem ferneren Lebensunterhalt wieder verhelfen zu können.

II. Correction höchstgradiger Kurzsichtigkeit durch entsprechende Concavgläser.

Die Sehnsucht, in die Ferne deutlich sehen zu können, ist bei hohen Myopen sehr gross. Wir lesen z. B., dass der gelehrte Myope Purkinje (3) solche Sehnsucht hatte, in die Ferne deutlich zu sehen, dass er sich über jedes Auge einhalb Pfund schwere, mit Feilspänen gefüllte Ledersäckchen gebunden hat und sehr erfreut war, als er am nächsten Morgen die Hausnummern an den Häusern gegenüber genau, wie mit seinem Augenglas sehen konnte. Nun hatte Purkinje

eine Myopie von nur $\frac{1}{7}$ (= 5·5 Diop.); man kann sich daher vorstellen, welche subjective Beschwerden höchstgradige Myopen von 20 D. und darüber haben müssen.

Wohl drängt sich hier zunächst die Frage auf, ob sich höchstgradige Myopie nicht durch corrigirende Concavgläser ebenso behandeln liesse wie jede andere Refractiansanomalie; dies wäre ja das Einfachste, und dann würde jeder weitere operative Eingriff entfallen.

Wir müssen leider aus vielfacher Erfahrung bekennen, dass es zwar möglich ist, solche Myopie zu corrigiren, dass aber die Brille den Myopen nichts nützt.

Während wir schwächere Grade hoher Myopie, also von 7 bis 10 Diop. in der Weise corrigiren, dass wir solchen Personen eine schwächere Brille geben und zur Fernsicht ihnen zur Ergänzung des deutlichen Sehens einen Zwicker über der Brille zu tragen verordnen, lässt uns auch dieses Mittel bei höchsten Graden von 13 bis 20 D. im Stich; denn mit einer schwächeren Brille ist ihnen gar nicht geholfen, da sie durch selbe kaum deutlicher sehen; dagegen können sie corrigirende Brillen gar nicht tragen; alle hohe Myopen drücken sich übereinstimmend dahin aus, dass sie letztere „nicht vertragen"; sie machen ihnen ein höchst unangenehmes Gefühl von Schwindel, Kopfschmerz, Unsicherheit ihrer Bewegungen; schliesslich sehen sie sich veranlasst, die Brille bei Seite zu legen, und ziehen es vor, sich lieber im Unsicheren und im Nebel zu bewegen, anstatt den Schwindel und Kopfschmerzen sich gefallen zu lassen. Letztere Beschwerden sind so bedeutend, dass mir in meiner langjährigen Praxis nur ein Myope vorgekommen ist, welche Brille von 18 D. getragen hat; doch war hiebei seine Sehschärfe ausserordentlich herabgesetzt, dass er Finger nur in kurzer Entfernung zählen konnte.

III. Warum vertragen hochgradige Myopen sehr starke Gläser nicht?

Letztere haben nämlich nachstehende schlechte Eigenschaften, welche man leider auf keine Weise beseitigen kann. Erstens sind sie am Rande sehr dick, wirken als Prisma und verzerren die Bilder in einer lästigen Weise. Wichtiger jedoch als diese Eigenschaft ist ihre verkleinernde Wirkung. Worin die Ursache der Verkleinerung liegt, das werde ich später bei der Berechnung der Bildgrösse ausführlicher anführen; hier sei einstweilen bemerkt, dass Concavgläser den zweiten Knotenpunkt nach rückwärts verlegen; dadurch wird das Netzhautbild entsprechend kleiner.

Wiewohl allgemein angenommen wird, dass starke Concavgläser wegen der bedeutenden Verkleinerung nicht vertragen werden, muss ich hier bemerken, dass dies nicht der alleinige Grund hiefür ist; der Hauptgrund hiefür ist jedoch das G e f ü h l d e r g r ö s s e r e n E n t f e r n u n g d e r G e g e n s t ä n d e u n d d e r h i e r a u s r e s u l t i r e n d e n f a l s c h e n P r o j e c t i o n.

Jeder Mensch kann sich überzeugen, dass, wenn man durch ein starkes Concavglas durchsieht, die Gegenstände

1. kleiner,
2. viel weiter entfernt zu sein scheinen.

Die Verkleinerung werde ich bei der Berechnung der Bildgrösse ausführlicher behandeln. Für uns ist wichtiger die Erklärung der grösseren Entfernung.

IV. Weshalb sehen wir durch ein Concavglas die Gegenstände in grösserer Weite als in Wirklichkeit?

Die scheinbare Grösse eines Gegenstandes beurtheilen wir nach der Grösse des S e h w i n k e l s α. Letzterer ist jener

Winkel, den die von den äussersten Punkten des Gegenstandes *a b* durch den einfach gedachten Knotenpunkt des Auges bis zur Netzhaut gezogenen Richtungslinie einschliessen. Aus dieser Definition folgt, dass der Gegenstand *a b* ebenso gross ist wie *a' b'* und *a'' b''*. Alle drei Gegenstände geben ein Netzhautbild *A B* von derselben Grösse, folglich sollten alle drei uns scheinbar gleich gross erscheinen.

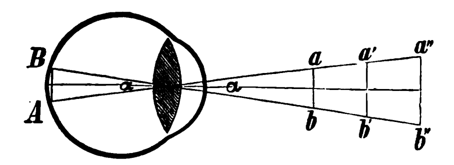


Fig. 1.

Winkel α und Bildgrösse.

Dieser Winkel und mithin das Netzhautbild hängen ab:

1. von der wirklichen Grösse des Objectes und
2. von seiner Entfernung vom Auge.

Der Gegenstand *a"b"*, der doppelt so gross ist als *ab*, der aber doppelt so weit vom Auge wie *ab* entfernt ist, gibt ein ebenso grosses Netzhautbild, und sollten uns *ab* und *a"b"* gleich gross erscheinen. Dass uns *a"b"* trotzdem grösser als *ab* erscheint, ist ein rein psychischer Act. Wir schätzen seine wahre Grösse durch einen Urtheilsact, dessen Prämissen in unserer Erfahrung zu suchen sind. Entweder kennen wir seine wahre Grösse aus Erfahrung, oder wir wissen, dass er sich in einer grösseren Entfernung als *ab* befindet und somit bei gleichem Sehwinkel grösser als *ab* sein muss. Dies beweisen die oft vorkommenden Täuschungen, wenn man unbekannte Gegenstände in Entfernungen sieht, die sich nicht schätzen lassen.

Täuscht man sich über die Entfernung des Gegenstandes, so täuscht man sich auch über seine Grösse.

Bei trüber Luft erscheinen die Contouren entfernter Berge undeutlich, wir halten sie daher für sehr weit entfernt und gross. Ist hingegen die Luft sehr rein und durchsichtig, so erscheinen dieselben Objecte näher, und daher halten wir sie für kleiner.

Hat man eine falsche Vorstellung über die Grösse des Gegenstandes, so täuscht man sich auch hinsichtlich seiner Entfernung. Namentlich wenn durch Erfahrung sehr gut bekannte Gegenstände (Menschen, Thiere etc., die in Grösse nur wenig variiren) durch ein Concavglas gesehen werden, so erhält man kleinere Netzhautbilder, als sie wären, wenn der Gegenstand mit unbewaffnetem Auge gesehen würde. Unwillkürlich versetzt man den Gegenstand also in eine grössere Entfernung, weil man aus Erfahrung weiss, dass kleinere Netzhautbilder weiter entfernten Gegenständen angehören.

Suchen wir das Verhältniss der Entfernungen, in denen das unbewaffnete und das bewaffnete Auge den Gegenstand zu sehen glaubt, zu den Netzhautbildern und zu den Entfernungen des zweiten Knotenpunktes von der Netzhaut.

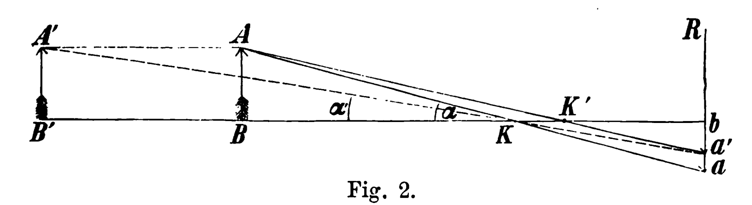


Fig. 2.

Verhältniss der Bildgrösse zur scheinbaren Entfernung.

Es sei *AB* der Gegenstand, *K* der zweite Knotenpunkt des Auges ohne Brille, *K'* der zweite Knotenpunkt des corrigirten Auges; *R* stelle die Retina vor; hiemit stellt *ab* das (Zerstreuungs-) Bild auf der Netzhaut von *AB*, und *a'b* dessen scharfes, durch Vorsetzen der Brille entstandenes Bild.

Durch die Kleinheit des Bildes $a'b$ wird das Auge, welches sonst ohne die Brille das Bild in der Grösse ab zu sehen gewohnt war, wenn der Gegenstand die Distanz BK hat, verleitet, den Gegenstand in der Distanz $B'K$ zu suchen, da es ohne Brille ein Bild von der Grösse $a'b$ von demselben Gegenstand, aber in der Entfernung $B'K$ zu erhalten gewohnt war.

Setzt man den Sehwinkel $A'KB'$ gleich α', und $AKB = \alpha$, so ist $AB = BK \operatorname{tang} \alpha = B'K \operatorname{tang} \alpha'$, also

$$BK : B'K = \operatorname{tang} \alpha' : \operatorname{tang} \alpha.$$

Anderseits ist:

$$ab = Kb \operatorname{tang} \alpha, \text{ und } a'b = Kb \operatorname{tang} \alpha'$$

daher $a'b : ab = \operatorname{tang} \alpha' : \operatorname{tang} \alpha$,

daraus: $$\mathbf{BK : B'K = a'b : ab} \quad \ldots\ldots \quad 1)$$

Die Entfernungen, in denen das unbewaffnete und das bewaffnete Auge denselben Gegenstand zu sehen glauben, verhalten sich umgekehrt wie die Netzhautbilder.

Man kann ferner ohne namhaften Fehler die Linien Aa und Aa' als parallel ansehen und dann setzen:

$$a'b : ab = K'b : Kb \quad \ldots\ldots \quad 2)$$

und dann ergibt sich durch Zusammenstellung mit 1)

$$BK : B'K = K'b : Kb \ldots.$$

d. h. die Entfernungen, in denen das unbewaffnete und bewaffnete Auge denselben Gegenstand zu sehen glauben, verhalten sich nahezu umgekehrt wie die Entfernungen des zweiten Knotenpunktes von der Netzhaut.

Dieser Satz wird durch die Erfahrung bestätigt: je stärker das Zerstreuungsglas, desto näher rückt der zweite Knotenpunkt an die Netzhaut, desto weiter erscheint uns der Gegenstand. Er gilt, solange überhaupt von einer Schätzung der Entfernungen die Rede sein kann. Für grosse Entfernungen verschwindet der Unterschied, da wir solche überhaupt nur sehr unvollkommen vergleichen können.

Durch das Gefühl, die Gegenstände in einer grösseren Entfernung zu sehen, als es in Wirklichkeit ist, geht gleichzeitig das subjective Gefühl der richtigen Projection verloren. Anfangs sehen sie alles an einem anderen Orte, als es in Wirklichkeit ist; Myopen mittleren Grades können dieses Gefühl überwinden, d. h. sie haben sich an die Brillen gewöhnt und vertragen sie; anders aber bei höchstgradigen Myopen, bei denen das Gefühl der weiteren Entfernung nicht überwunden werden kann. Namentlich belästigt sie genanntes Gefühl, wenn sie auf den Boden, ihre Füsse sehen; beide scheinen ihnen sehr tief zu liegen und hindern sie am Gang; ihre freie Bewegung wird dadurch unsicher. Nur höchst selten können sie corrigirende Brillen vertragen; Myopen hingegen über 18, 20 D — und so hohe Grade sind nicht selten — können an Brillen sich niemals gewöhnen. Für solche Kurzsichtige ist die Entfernung der Linse der einzige Ausweg.

V. Beitrag zur Geschichte der Ursache der Myopie und ihrer operativen Behandlung.

Ueber die richtige Erklärung der Myopie möchte ich mir erlauben, hier auf eines aufmerksam zu machen. Es ist allgemein bekannt, welche Verdienste mein hochverehrter Lehrer von Arlt sich um die richtige Erkenntniss der Myopie erworben hat, indem er 1854 anatomisch nachgewiesen hat, dass die eigentliche Ursache in der Axenverlängerung liege.

Um jedoch historisch gerecht zu sein, führe ich hier an, dass die Axenverlängerung als wahre Ursache des Leidens schon alten Ophthalmalogen vor dem Jahre 1700 bekannt gewesen ist und auch anatomisch zuerst von Morgagni nachgewiesen worden ist.

Bei Durchsicht älterer Literatur habe ich nämlich gefunden, dass wir die erste richtige Erkenntniss der Ursache

der Myopie in Hermann Boerhaven's: Abhandlung von Augenkrankheiten (1668—1738) beschrieben finden. Diese Stelle in deutscher Uebersetzung von Gabriel Friedrich Clauder, 1759, lautet: „Von dem nahen Gesichte.“ „Die natürliche Ursache dieses Zufalls in dem Auge kann verschieden sein. Erstlich verursacht diesen Zufall die allzugrosse Länge des Auges. Denn wenn zweier Menschen Auge in allem übereinkommt, aber bei einem solches länger ist, als bei dem andern und die Feuchtigkeiten in derselben Proportion unterschieden sind, so wird das längere Auge myopisch heissen; denn in demselben Auge steht dieselbe weiter von der Hornhaut ab, nach den hinteren Theilen zu, dass in diesem Punkt die Sammlung derer Strahlen nicht einfalle, sondern es geschieht vor der netzförmigen Haut, daher die Strahlen, welche in einem guten Auge das Object und dessen Bild in der netzförmigen Haut abbilden, in einem längeren Auge dahin nicht gelangen, sondern nach der Sammlung sich wieder zertheilen.“ .... „Die andere Ursache ist die allzugrosse Convexität oder Erhebung in der Runde von der Hornhaut“ (S. 251—253). Eine Zeichnung am Ende des Werkes versinnlicht den richtigen Strahlengang im myopischen Auge. Die physikalische Erklärung ist so richtig, dass wir an ihr heute nichts zu ändern haben (4).

Während Boerhave die wahre Ursache der Kurzsichtigkeit zuerst beschrieben hat, gebürt Morgagni (1682 bis 1771) das Verdienst, die Axenverlängerung zuerst anatomisch nachgewiesen zu haben. In seinen Briefen „Johann Baptista Morgagni“ de sedibus et causis morborum per anatomen indagatis, libri V, 1761,“ in deutscher Uebersetzung von D. Georg Heinrich Königsdorfer, Altenburg 1871: „Von dem Sitze der Krankheiten, welche durch Anatomie sind erforscht worden“, 1. Buch, S. 610, heisst die betreffende Stelle: „Von dem kurzen und langen Gesicht will ich weiter nichts sagen; .... es ist die wahre Ursache dieser Gebrechen, welche bei dem ersten (kurzen Gesicht)

in einer grösseren, bei dem anderen (langen) in einer kleineren Entfernung der Augenlinse von der Markhaut herkommt, dem Plater nicht, wie einige meinen, bekannt gewesen." Boerhave nennt an dieser Stelle den der Myopie entgegengesetzten Zustand, die Weitsichtigkeit nämlich „Antimyopia". Es ist dies die erste anatomisch erwiesene Erklärung der Kurzsichtigkeit. Morgagni hat auch ganz richtig erkannt, dass hiebei der hintere Abschnitt des Augapfels „zwischen der Linse und der Markhaut" verlängert ist (5).

Dagegen gebürt das Verdienst, den ersten Vorschlag der Extraction oder „Niederdrückung" der Linse bei excessiver Myopie gemacht zu haben, nicht, wie es heisst, Beer, sondern dem Augenarzt, Professor zu Göttingen August Gottlieb Richter.

Auch dieser Autor schildert in seinem Werke „Anfangsgründe der Wundarzneikunst" in 6 Bänden, Wien 1790, 3. Theil, S. 535, die Ursache der Myopie so, wie wir sie heute verstehen. „Auch bei gehöriger Brechung der Lichtstrahlen im Auge müssen sich dennoch die Lichtstrahlen in einem Focus vereinigen, ehe sie die Retina berühren, wenn die Hornhaut oder Krystallinse zu sehr von der Retina entfernt, d. i. wenn der Augapfel zu lang ist. Es ist daher nicht zu zweifeln, dass die widernatürliche Länge des Augapfels eine Hauptursache der Kurzsichtigkeit sein kann. Es kann der Augapfel **von seiner ersten Bildung** an ungewöhnlich gross und laug sein (S. 536) (6.).

Doch erwähnt daselbst Richter nicht nur der reinen Axenmyopie, sondern auch derjenigen, welche Mauthner in seinem Werke (Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges, Wien 1870, S. 429) anführt, und welche durch vermehrte Hornhautkrümmung bedingt ist. Diese Stelle bei Richter lautet (S. 431): „Die erste Ursache, die allzugrosse Brechung der Lichtstrahlen im Auge, wodurch die Lichtstrahlen schnell, und ehe sie die Retina erreichen, in einem

Focus vereinigt werden, rührt zuweilen von einer zu starken Convexität der durchsichtigen Hornhaut her."

Schliesslich finden wir bei Richter auch die Ansicht vertreten, dass hohe Myopie auch durch übermässige Convexität der Linse bedingt werde; diese Ansicht wird nach den neuesten Erfahrungen auch von neueren Autoren geltend gemacht (Schweigger, Operative Beseitigung hochgradiger Myopie, Deutsche medic. Wochenschr. 1893, Nr. 20; Vossius, Beiträge zu der Augenheilkunde, 18 H., S. 63; Fukala, Beitrag zur Ursache der höchstgradigen Myopie, Knapp-Schweigger's Archiv f. Augenhk. XXIV., p. 161.) Richter schrieb darüber S. 533: „Da die Brechung der Lichtstrahlen im Auge grösstentheils und vorzüglich von der Krystallinse abhängt, lässt sich allenfalls wohl glauben, dass diese (Linse) eine Kurzsichtigkeit veranlassen kann, wenn sie zu convex ist."

An dieser Stelle finden wir auch den ersten Vorschlag Richter's zur Beseitigung der Linse; diese Stelle lautet:

„Das einzige Mittel dieser Art wäre die Ausziehung oder Niederdrückung der Linse, ein Mittel, das auch selbst im Falle der stärksten Kurzsichtigkeit, wo Palliativmittel wenig nützen, schwer anwendbar ist." Mit diesen Worten hat G. A. Richter den Grundstein zur Idee der Extraction bei hoher Myopie gelegt.

Seit Richter hat hierauf niemand darüber mehr geschrieben, geschweige denn die Linse extrahirt oder reclinirt. Erst Beer hat sich mit diesem Gedanken eingehend befasst, wie wir dies in seinem Werke (7) lesen können; gleichzeitig hat aber auch Beer auf die grossen Schwierigkeiten, die sich der Ausführung der Operation in damaliger Zeit entgegengestellt haben würden, aufmerksam gemacht. Zur wirklichen Ausführung zum Zwecke der Heilung der Myopie ist es jedoch nicht gekommen.

Die Stelle in Beer's Werke lautet: „Ob man übrigens bei einem fast an wirkliche Blindheit grenzenden Grade der

Kurzsichtigkeit den Leidenden nicht etwa eine wahrhaft gründliche Hilfe durch Ausziehung der Linse leisten könnte? Dafür möchte schon der Erfolg der Staarausziehung laut sprechen, welche vor der Entstehung des Staares in einem sehr hohen Grade kurzsichtig waren, denn kein anderer auch noch so glücklich operirter Staarblinder erfreut sich eines so trefflichen Gesichtes, von dem der Kurzsichtige niemals einen Begriff gehabt hat. Wer steht aber für den Erfolg dieser Operation überhaupt? Zumal bei der Ausziehung einer durchsichtigen Linse? Wird der Kurzsichtige nicht vielmehr selbst, indem er die Annäherung eines jeden Instrumentes deutlich sieht, automatisch dem Operateur die grössten Hindernisse in den Weg legen, und der Erfolg der Operation eben dadurch umso viel unsicherer machen als es bei der gewöhnlichen Staarausziehung der Fall ist? Wie schwer ist schon die Extraction des Staares bei einer noch nicht vollkommen verdunkelten Linse? Wer dieses nie versucht hat, kann es auch unmöglich beurtheilen. Indessen lohnte es sich doch immer der Mühe, wenn sich ein solcher höchst Kurzsichtiger einmal wenigstens mit einem solchen Heilmittel verstände."

VI. Spätere Versuche, die Myopie durch ein orthopädisches Verfahren, durch convexe, concave Gläser, Magnetismus und Tenotomie der Augenmuskel zu heilen.

Es ist nach dem Geschilderten begreiflich, dass man dem Fortschritte der Zeit huldigen wollte und verschiedenartige Versuche unternommen hat, um die Kurzsichtigkeit zu heilen.

Zuerst versuchte man es um das Jahr 1826, dies am unblutigen Wege, durch eine Art von Orthopädie zu erreichen. Man war nämlich von dem Wahn befangen, dass

Myopie auf einer „schlechten Gewohnheit" beruhe. Der berühmte Optiker Petitpièrre in Berlin (8) ist zuerst auf die Idee gekommen, einen Apparat zu construiren, wodurch es möglich war, den Gegenstand vom Auge immer mehr entfernen zu können. „Mit Abnahme der Kurzsichtigkeit musste der Apparat immer höher geschraubt werden," so hiess es darin.

Die Einbildung, dass die Kurzsichtigkeit durch ein solches Verfahren geheilt werde, hat sich immer mehr eingewurzelt. Himly (9) schreibt darüber:

„Behufs einer Radicalcur ist eine streng durchgeführte Gewöhnung, die Objecte immer ferner zu halten, nicht genug zu empfehlen." Berthold in Göttingen (10) construirte einen neuen Apparat, welcher diesem Zwecke noch besser entsprochen hat, das Myopodiorthotikon (von μύωψ und διορθότικον, d. h. „Besserung bewirkend", wie es im Original heisst). Merkwürdiger Weise begeisterte sich die ganze oculistische Welt für dieses Instrument; Autoritäten, wie Hasner (11), welcher sonst in seinen Angaben sehr zuverlässig gewesen ist, konnten das M. nicht genug rühmen und behaupteten mit aller Entschiedenheit, dass das Wachsen der Kurzsichtigkeit dadurch aufhöre, ja sogar letztere abnehme

Noch mehr widersinnig erscheint uns die Lehre von Egerton Smith und Baldwin (12), welche gleichfalls „zur Radicalcur" **convexe** Brillen tragen liessen, die stufenweise durch stärkere ersetzt worden sind; „die Möglichkeit der Accommodation des Auges, — heisst es — nach einem convexen Glase ist nicht abzustreiten, da ein stark concaves kurzsichtiger macht." Wieder andere, wie Meyer (10), liessen concave Gläser tragen, deren Nummer stets langsam herabgesetzt worden ist.

Das Myopodiorthotikon wurde bald aufgegeben; man hat ferner zum Magnetisiren seine Zuflucht genommen. Becker (13) berichtet, einen Knaben mit angeborner höchster Myopie, welcher gewöhnlichen Druck in nur zwei Zoll

Entfernung vom Auge gelesen hat, durch mehrmaliges Anhalten des Nordpols eines 400 Pfund ziehenden Magneten „geheilt zu haben“; nach 4 Monaten — so liest man — konnte der Knabe in 18 Zoll lesen.“ Es braucht wohl nicht bemerkt zu werden, dass diese Radicalcur auf einer gewaltigen Einbildung beruht hat.

Die Sache der operativen Heilung der Myopie schien zu Anfang der vierziger Jahren eine günstige Wendung genommen zu haben, als damals neue Ansichten und dem entsprechend neue Operationsmethoden zur angeblichen Heilung der Myopie sich geltend gemacht haben. Leider beruhten auch diese auf ganz irrthümlicher Anschauung über das Wesen der Kurzsichtigkeit. Zunächst hat v. Froriep (14) eine neue Lehre aufgestellt, dass es zweierlei Arten von Kurzsichtigkeit gebe: eine optische und mechanische; namentlich werde letztere bewirkt durch gleichmässig starke, angeborne Kürze oder actives Zurückziehen aller vier geraden oder beider schiefen Augenmuskeln, wodurch der Augapfel der Länge nach ausgedehnt wird. Demgemäss erschien den Augenärzten die subconjunctivale Durchschneidung der geraden oder schiefen Augenmuskeln als die einzige Radicalcur der Myopie. Es waren dies J. René, Guérin, Kuh, Phillips, Bonnet, Froriep und A. (15).

Guérin, welcher sich viel mit Muskel- und Sehnen-Durchschneidungen befasst hat, namentlich bei Rückgratsverkrümmungen, glaubte diese Methode auch auf die Augenmuskeln ausdehnen zu müssen; er hat die Recti ex- und interni durchschnitten. Phillipps durchschnitt die schiefen Augenmuskeln, wieder Andere haben sämmtliche Augenmuskeln tenotomirt. Man muss nur staunen, wie rasch diese Methoden sich ausgebreitet haben! Guérin erklärte in einem Vortrag der Pariser Akademie der Wissenschaften, dass es ihm gelungen wäre, die Kurzsichtigkeit zu heilen; seine wissenschaftlichen Verdienste wurden mit zahlreichen Auszeichnungen belohnt. Er beschrieb einen Fall von angeblicher

Myopie, welche durch Tenotomie „von Tag zu Tage weitsichtiger wurde“. Froriep beschrieb zwei Fälle und alle anderen ebenfalls, welche dadurch von der Myopie geheilt sein sollten! Selbst Autoren allerersten Ranges, wie Himly haben in das neue Verfahren „grosse Hoffnungen“ gelegt.

Die Verehrung für die neue Heilmethode war so gross, dass trotz allseitiger Selbsttäuschung niemand den Muth hatte, die Wahrheit zu sagen. Man kann sagen, Velpeau war der erste, der dieser neuen Lehre scharf entgegengetreten ist; er hat einen Kurzsichtigen operirt und gestand reine Wahrheit, dass von einer Heilung keine Rede sein könne.

VII. Mooren's Versuche, die Linse zu extrahiren.

Im Jahre 1858 brachte Mooren am Congresse zu Heidelberg die Extraction der durchsichtigen Linse zuerst zur Sprache. Seine Anschauungen fanden jedoch keinen Beifall. Insbesondere ist ihm v. Graefe scharf entgegengetreten, so dass die Idee Mooren's ins Wanken gerathen war; ein schlechter Fall, welchen Mooren später gehabt hat, bewogen ihn, seine ferneren Versuche aufzugeben. Es darf uns nämlich nicht wundern, dass Mooren einen unglücklichen Fall gehabt hat, wenn wir bedenken, dass zu damaliger Zeit (1858) der Procentsatz der Verluste nach Staaroperationen bis 25°/₀ betragen hat! Heute operiren wir freilich anders, so dass der Verlust 1°/₀ kaum übersteigt; zudem hat Mooren sich der directen Extraction ohne vorherige Trübung der Linse durch Discision bedient, und wenn wir noch bedenken, dass wir heute mit den besten und sichersten antiseptischen Hilfsmitteln unsere Staaroperationen ausführen, finden wir den einen Verlust Morren's leicht begreiflich. v. Graefe begründete sein Urtheil damit, „dass auch nach der Entfernung der Linse

das weitere Fortschreiten der Kurzsichtigkeit nicht sistirt werden könne, weil die Bedingungen ihrer Zunahme allein in der Gegenwart der so charakteristischen, um den Sehnerveneintritt localisirten atrophischen Choroidealveränderungen (Sclerotico-Chorioiditis posterior) zu suchen seien, ganz abgesehen von den Gefahren, die die Ungewissheit des Erfolges für die Patienten nach sich ziehe.“ Zu diesen Gefahren rechnete v. Graefe auch innere Entzündungen Da Mooren einen Misserfolg zu verzeichnen hatte, erwies sich der Widerspruch v. Graefe's scheinbar als gerechtfertigt.

Ueber das Verhältniss der Sclerotico-Chorioiditis post., welches v. Graefe für die Ursache des Fortschreitens der Myopie hielt, könnten erst jahrelange Beobachtungen entscheiden. Gegen das v. Graefe'sche Urtheil führe ich nach vieljähriger eigener und anderer Beobachtung an, dass wir bei jugendlichen Individuen sehr häufig hohe, fortschreitende Myopie und den Augengrund, ohne atrophische, oder chorioidistische Veränderungen bei genauer Spiegeluntersuchung vorfinden. Zweitens hatte ich, wie ich dies am Ophthalmologen-Congresse zu Heidelberg und Edinburg 1894 besprochen habe, Gelegenheit gehabt, einige der ältesten von mir Operirten durch 5 Jahre lang zu beobachten, wobei ich mich überzeugte, dass die Refraction des operirten Auges nur unbedeutend oder gar nicht zugenommen hat; darüber werde ich weiter unten etwas ausführlicher schreiben.

Nebstbei bemerke ich gegen den Ausspruch v. Graefe's, dass die Entwicklung der Sclerotico-Chorioiditis keineswegs bei allen hochgradigen Myopen, selbst desselben Grades gleichen Schritt hält. Vielmehr hängt dieselbe (Entwicklung der Scler.-Chorioid.) von der Ueberbürdung durch die Accommodation und dem Quantum der Nahearbeiten, besonders unter ungünstigen Verhältnissen, wie schlechter Beleuchtung etc. Diese Erfahrung haben alle Augenärzte gemacht.

Indem durch die Extraction der Linse der Gebrauch der Accommodation wegfällt und die forcirte Convergenz durch

Hinausrücken des Fernpunktes ad normam reducirt wird, treten neue Verhältnisse ein, welche der Weiterentwicklung der Myopie geradezu den weiteren Weg abschneiden.

An demselben Congresse ist nebst v. Graefe auch Donders, Mooren scharf in Wort und in seinem bald hieraut erschienenen Werke der Lehre von der Refraction entgegengetreten. Donders nannte sogar die Extraction der Linse bei hoher Myopie „eine strafbare Vermessenheit"; er meinte, dass dem Auge durch die Aphakie „kein wesentlicher Vortheil erwachsen würde". Das Urtheil von Donders beruhte jedoch auf rein theoretischer Begründung, dem jedoch keine praktische Erfahrung zur Seite stand.

Seither hat niemand mehr gewagt, an eine Operation der Myopie zu denken, nachdem zwei Männer, welche damals an leitender Spitze der Ophthalmologie gestanden sind, sich so schroff gegen dieselbe ausgedrückt haben.

Und dennoch konnte ich trotz der hohen Autorität und meiner Verehrung zweier ophthalmologischer Koryphäen, wie v. Graefe und Donders, auf Grund meiner langjährigen theoretischen Erwägungen und Berechnungen mich von ihrem Urtheile nicht überzeugt fühlen. Namentlich dachte ich, dass, nach den Erfahrungen über die Discision bei Kindern, die Sache denn doch einen guten Ausgang haben dürfte, wenn man jungen höchstgradigen Myopien die Linse durch genanntes Verfahren beseitigen möchte. Zunächst war mir der Umstand maassgebend, dass bei Kindern trotz höchster Myopie — oft sogar 20 Diop. und darüber — keine Zeichen von Sclerotico-Chorioiditis zu finden waren. Ich habe letzterer meine Aufmerksamkeit geschenkt und gefunden, dass sie selten unter dem 20. Lebensjahre vorkommen. Allerdings habe ich öfter einen Pigmentschwund gefunden, so dass man die Chorioidealgefässe wahrnehmen konnte, — aber an eine Sclerotico-Chorioiditis bei Kindern kann ich mich trotz fortschreitender Myopie nicht erinnern. Daher habe ich vor langer Zeit meinem hochverehrten Lehrer Arlt meine Absicht, Kindern

die Linse durch Discision wegen höchstgradiger Myopie beseitigen zu wollen, mitgetheilt. Arlt billigte jedoch meinen Vorschlag nicht, indem er auf die Aeusserungen Donders' und v. Graefe's hinwies. Ich stand daher eine Zeit lang von meinem Vorhaben ab, da ich damals als junger Arzt mich gegen die Ansicht meiner hochgeschätzten Lehrer nicht auflehnen wollte. Schliesslich schritt ich dennoch, veranlasst durch vielfache Beschwerden vieler Kurzsichtiger im Jahre 1887 zu meiner ersten Myopie-Operation, welche ich 1890 im v. Graefe's Archiv für Ophthalmologie (16) veröffentlicht habe. Und ich habe mich nicht geirrt; da hat sich wieder das alte Sprichwort bewährt: Probiren geht über's Studiren! Die von mir vorgeschlagene Operationsweise hat vielseitigen Beifall gefunden; sie ist seither sehr häufig an vielen Universitätskliniken und von vielen Augenärzten mit bestem Erfolge ausgeführt worden.

Schliesslich muss ich noch erwähnen einer in neuester Zeit versuchten, ganz originellen Operationsmethode hochgradiger Kurzsichtigkeit.

Galezowski in Paris hat aus dem oberen Randtheile der Hornhaut ein halbmondförmiges Segment herausgeschnitten und hierauf die Wunde der Vernarbung überlassen (17).

Galezowski beabsichtigte durch die Narbenzusammenziehung eine Abflachung der Hornhaut und damit eine Abnahme der Myopie zu erzielen. Die Resultate Galezowski's sind keineswegs gut gewesen, wie es vielleicht schon a priori theoretisch zu erwarten war; denn vor allem ist ein solcher Eingriff als ein schwerer zu bezeichnen, da ja dadurch eine grosse Oeffnung in der Bulbuskapsel geschaffen wird, durch welche das Kammerwasser lange Zeit hindurch herausfliesst. Der Eingriff ist jedenfalls bedeutender als der bei einer Staaroperation.

Unter 22 so operirten Fällen bekam G. 10mal Iriseinklemmung und einmal ein consecutives Glaucom. Doch selbst im günstigsten Falle, wenn man von den erwähnten

Hinausrücken des Fernpunktes ad normam
treten neue Verhältnisse ein, welche der W[illegible]
der Myopie geradezu den weiteren Weg abs[illegible]

An demselben Congresse ist nebst
Donders, Mooren scharf in Wort und in sei[illegible]
erschienenen Werke der Lehre von der Re[illegible]
getreten. Donders nannte sogar die Ex[illegible]
bei hoher Myopie „eine strafbare Vermes[illegible]
dass dem Auge durch die Aphakie „kei[illegible]
Theil erwachsen würde“. Das Urtheil [illegible]
jedoch nur ein theoretischer Begründun[illegible]
praktische Erfahrung zur Seite stand.

Seither hat [illegible] mehr gewa[illegible]
[illegible] zwei [illegible]

[illegible]

[illegible] der
[illegible] von
[illegible] Be-
[illegible] Accom-
[illegible] welche
[illegible] und
[illegible] extraction

.l.
:ur
:gen
sahe-
:amo-
un Be-
Moment
ch haben
en Grades
$\frac{1}{5^1{}_{.2}}$ (7 D.),

.) zurückging.

d hohen Grades.

ropin zur Emme-

rden ist; v. Reuss
n, welcher Concav-
it Emmetropie; in der
en den Angaben von
etc. sehr zahlreich. Es
ss Accommodations-
ng gleichsam umsetzt,
führt. (Fuchs, Augenheilk.
.) Von vielen Autoren, wie
. A. wird der Accommodation
nahme der Myopie zugeschrie-
zeichneter Accommodationskraft
näher an die Augen heran, als
it Vorliebe kleinen Druck, oder
Handarbeiten. Unter diesen Um-

Unfällen, die fast unvermeidlich sind, absieht, müsste vor einem so schweren operativen Eingriff die resultirende Narbenzusammenziehung und der unregelmässige Astigmatismus höchsten Grades abschrecken; da ist denn doch der Myope besser daran, wenn er entweder ein Concavglas oder auch keines trägt.

VIII. Nachtheile der Accommodationswirkung bei hochgradiger Myopie.

Allen Augenärzten ist die Thatsache bekannt, dass lang andauernde Wirkung der Accommodation bei hochgradiger Myopie sehr schädlich ist, indem dadurch die Myopie zunimmt. Insbesondere gilt dies dann, wenn gleichzeitig angeborne Anlage zur Ausdehnung der Sclera sich vorfindet. Schon aus diesen Gründen habe ich mich in meiner ersten Publication in v. Graefe's Archiv f. Ophth. 36, II. Th., S. 230, dahin ausgesprochen, dass das höchstgradig myopische Auge durch das Wegfallen der Linse und der Accommodation sich gegen ein kurzsichtiges mit der Linse bedeutend im Vortheile befindet.

Anders hat sich jedoch Donders in seinem Werke (S. 351) darüber ausgedrückt; er meinte, dass durch die Aphakie „die Accommodation geopfert werde, ein Nachtheil (?), welcher durch die etwas grösseren Netzhautbilder nicht aufgewogen wird“. Dieses Urtheil Donders' ist von den Gegnern der Myopie-Operationen mit Vorliebe als Begründung vielfach ausgenützt worden.

Sehen wir uns jedoch genau um, wie es mit der Accommodation bei hochgradiger Kurzsichtigkeit steht, welche Vor- und Nachtheile diese Leute durch dieselbe haben, und wie sie in der Beziehung vor und nach der Linsenextraction daran sind?

Die Antwort darauf lautet: Sowohl aus theoretischen, als auch praktischen Gründen verliert der Myope an der Accommodation nicht nur gar nichts, sondern er gewinnt durch ihr Wegfallen viel. Hochgradige junge Myopen, welche über ein bedeutendes Accommodationsquantum verfügen, accommodiren unwillkürlich, indem sie den Gegenstand nur um wenige Millimeter an das Auge herannähern; diejenigen hingegen, welche infolge ihrer Beschäftigung mit Nahearbeiten viel zu thun haben, acquiriren einen **Accommodationskrampf**, welcher die ohnehin hohe Myopie um Bedeutendes steigert. Hierin liegt ein sehr wichtiges Moment zum Fortschreiten der Kurzsichtigkeit. Thatsächlich haben viele Augenärzte Accommodationskrampf höchsten Grades beobachtet. Völkers beschrieb eine Myopie von $\frac{1}{5^1/_2}$ (7 D.), welche nach Atropinwirkung auf $\frac{1}{30}$ (1·5 D.) zurückging. Schnabel erwähnt mehrere Fälle höheren und hohen Grades, bei welchen Myopie von $\frac{1}{5}$—$\frac{1}{3}$(!) nach Atropin zur Emmetropie oder Myopie geringen Grades geworden ist; v. Reuss constatirte bei einem 12 jährigen Knaben, welcher Concavgläser 6 D. getragen hat, in Wirklichkeit Emmetropie; in der Literatur finden wir solche Fälle neben den Angaben von Schmidt-Rimpler, Vossius, Hock, Just etc. sehr zahlreich. Es besteht kein Zweifel darüber, dass Accommodationskrampf sich in Axenverlängerung gleichsam umsetzt, d. h. zur wirklichen Axenmyopie führt. (Fuchs, Augenheilk. 1889, S. 683, Mauthner l. c. S. 671.) Von vielen Autoren, wie Erismann, Schön, Dobrowolsky u. A. wird der Accommodation der grösste Einfluss auf die Zunahme der Myopie zugeschrieben. Junge Myopen mit ausgezeichneter Accommodationskraft nehmen die Gegenstände viel näher an die Augen heran, als dies nothwendig ist, lesen mit Vorliebe kleinen Druck, oder sie befassen sich mit feinen Handarbeiten. Unter diesen Um-

ständen leidet das Auge sehr, indem der Grad der Kurzsichtigkeit stetig zunimmt. Donders macht auf die erwähnte Eigenschaft der Myopen aufmerksam; so kommt es, dass solche Unglückliche dem Arzt oft erzählen, sie hätten noch vor einigen Jahren so gut gesehen, dass sie grössere Schrift von Firmatafeln ausnehmen konnten, während sie jetzt von Gegenständen nichts mehr zu erkennen imstande sind.

Wo also neben angeborner Anlage zur Axenverlängerung die Accommodation übermässig in Anspruch genommen wird, dort findet die Myopie den günstigsten Boden, sich zur bedeutendsten, oft unglaublichen Höhe zu entwickeln; wenn aber durch Entfernung der Linse die Accommodation wegfällt, dann fällt gleichzeitig eine bedeutende Ursache zum Fortschreiten der Myopie weg.

Wenn also Donders gemeint hat, dass bei höchstgradiger Myopie durch die Aphakie die Accommodation „geopfert" werde, so muss ich darauf erwidern, dass ich nicht einsehe, worin dieses Opfer bestehe? Es könnte von einem Opfer nur dann die Rede sein, wenn der betreffende Myope seine Accommodation mit oder ohne Hilfe corrigirender Gläser verwenden könnte. Aber in keinem der beiden Fälle macht er von der Accommodation wirklichen Gebrauch; denn ohne die Brille ist sie für ihn wertlos, da er ohnehin viel zu nahe die Gegenstände vor den Augen halten muss; mit der Brille hingegen darf er es nicht, — und jeder Augenarzt, der dem hochgradigen Myop zu Nahearbeiten corrigirende Brille empfehlen würde, möchte hiemit einen groben Fehler begehen. Ein junger Myope, welcher z. B. eine *M* von 15 bis 20 *D* hat, und über die sehr respectable Accommodationsbreite von $^1/_3$ verfügt, kann mit Hilfe seiner Accommodation einen Gegenstand höchstens um 2 bis 3 *cm* näher zum Auge herannähern; hat er aber dazu auch nur das geringste Bedürfniss? Durchaus nicht, da er ohnehin durch die bedeutende Annäherung belästigt wird.

Darf aber ein höchstgradiger Myope mit corrigirenden Brillen seine Accommodation in derselben Weise wie etwa ein Emmetrop verwenden? Die Antwort lautet: unter keinen Umständen; denn es wäre unverantwortlich, ihn mit corrigirenden Brillen arbeiten zu lassen. Kein Fall ist denkbar, in welchem dies möglich wäre; es werden durch die Gläser die Netzhautbilder sowohl in der Ferne als auch beim Betrachten naher Gegenstände zu klein; letztere Eigenschaft ist umso fataler, als ausnahmslos die Sehkraft dieser Leute bedeutend gelitten hat; es wäre also ein grober ärztlicher Verstoss, einem solchen Myopen bei Nahearbeiten mit der corrigirenden Brille accommodiren zu lassen, statt ihm dazu entsprechend schwächere Gläser zu geben, durch welche die Netzhautbilder entsprechend grösser werden; denn dann entfällt auch gleichzeitig die schädliche Wirkung der Accommodation und ihrer Folgen.

IX. Durch die Accommodation wird der intraoculare Druck erhöht.

Viele Autoren haben durch Experimente bewiesen, dass durch die Thätigkeit des Accommodationsmuskels der intraoculare Druck gesteigert wird.

Coccius ist der erste gewesen, welcher gleich nach der Erfindung des Augenspiegels im Jahre 1852 dies beobachtet und beschrieben hat. Er liess junge Myopen accommodiren und dann plötzlich in die Ferne sehen. Es zeigte sich hiebei ganz deutlich, dass während der Accommodation die Wandungen des Auges unter einem höheren Druck standen als beim Fernblick. v. Graefe hat im Jahre 1854 ähnliche Beobachtungen gemacht; er schrieb darüber im Archiv f. Ophthalm. I, 1. Theil, S. 37:

„Ebenso habe ich neuerdings durch Beobachtungen des Venenpulses auf der Netzhaut Gelegenheit gehabt, mich davon zu überzeugen, dass dieser Puls bei der Accommodation in die Nähe zunimmt.“

In Heinrich Müller's gesammelten und hinterlassenen Schriften zur Anatomie und Physiologie des Auges, Leipzig 1872, S. 177, lesen wir, dass die longitudinalen Fasern des Ciliarmuskels eine Erhöhung des Druckes im Glaskörperraum bewirken.

Auch v. Arlt erwähnt vielfach in seinen Werken von dem erhöhten Druck im hinteren, — also im Glaskörperraum. Dies sind die ersten Angaben darüber in der Literatur.

Auf welche Weise geschieht dies?

Wie ist die physiologische Erklärung dieser Thatsache?

Hensen und Völker haben sich das meiste Verdienst erworben, diese Thatsachen physiologisch erklärt zu haben (v. Graefe's Archiv f. Ophth. IV. I., S. 282). In mühsamer und technisch äusserst schwieriger Weise haben sie zuerst an Hunde-, dann an Katzen- und Affen- und zuletzt auch an Menschenaugen nachgewiesen, dass die Chorioidea bei jedem Accommodationsacte nach vorne sich bewegt.

Diese Bewegung bewirkt Zerrung der Gefässe und seröse Ausschwitzung aus den Gefässen, daher Erhöhung des Druckes im Glaskörperraum.

Hensen's und Völker's Erklärung findet allgemeine Annahme. Wenn auch die seröse Ausschwitzung im Momente der Accommodation keine bedeutende ist, so summirt sich doch ihr Einfluss bei lange andauernder und fortgesetzter Accommodation und übt auf die dehnbare Sclerotica ihre schädliche Wirkung aus.

Auch Mannhardt's Untersuchungen haben bewiesen, dass im Momente der Accommodation der Druck im Auge, resp. im Glaskörperraum entsprechend erhöht wird.

X. Anatomischer Zusammenhang der Zunahme der Myopie mit langandauernder Accommodation.

Was Hensen und Völkers physiologisch erklärt haben, das hat Iwanoff durch anatomische Untersuchungen myopischer Augen bestätigt und deren Lehre dadurch bekräftigt. Die Erklärungen ersterer haben durch die Untersuchungen und Studien Iwanoff's über den Bau des Ciliarmuskels myopischer und hypermetropischer Augen eine wesentliche Stütze erhalten. (Beiträge zur Anatomie des Ciliarmuskels, v. Graefe's Arch. f. O. XV, 3. S. 295.) Iwanoff hat gefunden, dass bei Myopen die Circulärfasern atropisch, dagegen die radiären hypertrophisch sind. Da die Circulärfasern nur bei höher entwickelten Thieren, wie z. B. Affen, sich vorfinden, fasst Iwanoff sie so auf, dass sie ein Beitrag zur Erleichterung der Accommodation sind.

Nun nehmen Myopen die Accommodation weniger in Anspruch als die Hypermetropen, weshalb der accessorische Theil, die Circulärfasern, atrophiren; denn die hypertrophirten longitudinalen Fasern sind für den geringen Bedarf an Accommodation vollkommen hinlänglich, bedürfen daher keiner weiteren Unterstützung seitens der Circulärfasern. Die einmal begonnene Atrophie wird, indem sie erblich mit der verlängerten Sehaxe übertragen wird, immer weiter fortschreiten. Unter dem Einfluss dieses Zustandes wandelt sich der Ciliarmuskel immer mehr zum Tensor Chorioideae um, welcher nun seinerseits die pathologische Verlängerung der Sehaxe hervorruft. Es muss der Ciliarmuskel des Myopen bei seiner

Contraction eine bedeutend stärkere Zerrung der Chorioidea bewirken als der Muskel des Hypermetropen, bei welchem umgekehrt der Circulärtheil stärker entwickelt ist. Nach Iwanoff ist es daher sehr wahrscheinlich, dass die Scleroectasia posterior auch der eigentliche Ausdruck des Einflusses des Tensor Chorioideae auf den hinteren Pol ist. Mit Iwanoff theilte auch Horner dieselbe Ansicht, dass die Accommodationsanstrengung mit der Steigerung der Kurzsichtigkeit durch Vermittlung der Radiärfasern des Ciliarmuskels im Zusammenhang stehe. Die allein übrig gebliebenen Fasern hypertrophiren und rufen bei Anstrengung der Accommodation eine Reihe von neuen pathologischen Veränderungen im hinteren Theile der Chorioidea hervor, durch welche das Fortschreiten der Myopie gefördert wird. Ebenso ist es auch einzusehen, dass auch eine, wenn auch geringere Zerrung der Chorioidea bei Hypermetropen stattfindet, und kann bei grosser Accommodationsanstrengung auch in einem solchen Auge eine Ectasirung an der Sclera eintreten, wodurch das Auge emmetropisch, selbst leicht myopisch werden kann (Iwanoff, l. c. 298).

Die Untersuchungen und Erklärungsweise Iwanoff's sind von Arlt vollinhaltlich bestätigt worden. Iwanoff's Deutung erklärt zur Genüge, dass die Accommodation bei myopischen Augen und angeborener Anlage zur Ausdehnung der hinteren Augenwände einen geradezu verderblichen Einfluss ausüben muss; um wie viel höher ist ihr Einfluss bei Myopie höchsten Grades! Im gleichen Sinn beurtheilen die Accommodation bei Myopie auch andere Autoren in ihren Werken, wie Dobrowolsky, Erismann, Mauthner, Schnabel, Hock, Schön u. a.

XI. Die Accommodation vor und nach der Extraction der Linse bei hochgradiger Myopie.

Die Befürchtungen Donders', dass durch die Aphakie die Accomodation einen bedeutenden Verlust für das

myopische Auge zu bedeuten habe, haben sich nicht nur nicht bestätigt, sondern es haben praktische Erfahrungen sogar uns eine ganz andere Ueberzeugung beigebracht. Nachdem von vielen Ophthalmologen viele Operationen mit glücklichen Resultaten ausgeführt worden sind, hat es sich gezeigt, dass

1. der Ausfall der physiologischen Accommodation keineswegs einer Reduction der Nahearbeiten gleichkomme;

2. es tritt durch Zusammenwirken von besonders günstigen optischen Verhältnissen ein Ersatz der Accommodation in der Weise ein, dass nicht nur die alte Leistungsfähigkeit für die Nähe erhalten bleibt, sondern in allen Fällen eine wesentliche Verbesserung derselben eintritt (18).

Auf dieses Verhältniss hat Thier in Aachen am ophthalmologischen Congress in Edinburg 1894 (s. Ophthalmological Congress, held in Edinburgh, 1894, S. 173) aufmerksam gemacht. Mit Recht bemerkt Thier, dass ein aphakes emmetropes Auge, wenn es für die Nähe eingestellt werden soll, dazu ein starkes Convexglas braucht; die Brechung der Strahlen ist hiebei eine sehr bedeutende, letztere vereinigen sich unter einem verhältnissmässig grossen Winkel. Hiebei treten grosse Zerstreuungskreise ein, wenn der Gegenstand nur eine geringe Verschiebung erleidet, so dass thatsächlich ein gutes Sehen nur in einer sehr kleinen Distanz möglich ist; auch ein schwaches Wegrücken des Buches hat schon grosse Zerstreuungskreise zur Folge; daher ist die Leistungsfähigkeit eines solchen Auges eine recht geringe.

Ungleich günstiger gestalten sich die Verhältnisse bei der Aphakie von höchstgradigen Myopen; selbe brauchen oft keine, oft nur sehr schwache Convexgläser zu Nahearbeiten; je höher die Myopie, desto schwächer das erforderliche Convexglas für die Nähe; bei letzterem vereinigen sich die Strahlen unter einem sehr spitzen Winkel und gestatten daher ein deutliches Sehen in sehr grossen

Distanzen; denn die dabei auftretenden Zerstreuungskreise sind fast verschwindend klein; da ferner Myopen im Entziffern der Zerstreuungskreise eine unglaubliche Uebung haben, „sie zu verarbeiten“, befinden sie sich ungemein wohl in ihrer neuen aphakischen Situation; ja es gibt eine grosse Anzahl derselben, welche ohne corrigirende Gläser in die Ferne und gleichzeitig in die Nähe mit grosser Leichtigkeit arbeiten; ich operirte einen Mann mit M. 20 D., welcher nach der Operation eine Myopie von 2 D. zurückbehalten hat; letzterer gestatte ihm ein vorzügliches Sehen in die Ferne, und konnte er mit grösster Leichtigkeit binoculär lesen und arbeiten. Solche Fälle kommen häufig genug vor.

Insbesondere treten genannte günstige Verhältnisse bei Nahearbeiten dann ein, wenn ohne Iridektomie operirt worden ist, da durch die Randstrahlen die Bildung zu grosser Zerstreuungskreise verhindert wird. So kommt es, dass die Leistungsfähigkeit für die Nähe im aphakischen Zustande eine ungleich günstigere ist als bei Anwesenheit der Linse.

Wir müssen dabei ferner berücksichtigen, dass das Accommodationsgebiet im normalen Zustande bei hoher Myopie ausserordentlich klein und fast unmittelbar vor dem Auge liegt; aus diesem Grunde ist es praktisch nicht zu verwerten. Mit der Accommodation soll gleichzeitig im normalen Zustande die Convergenz synergisch mitwirken; letzteres wird jedoch bei einem Fernpunkt in 5 und mehr Centimetern vom Auge zu einer absoluten Unmöglichkeit, es treten anfangs asthenopische Beschwerden auf, später muss das binoculare Sehen geopfert werden.

Auch die gleichzeitig mitwirkende Convergenz kommt nach der Aphakie in ein sehr günstiges Stadium; das gestörte Gleichgewicht zwischen Convergenz und Nahearbeiten kommt wieder in eine wohlthätige Harmonie; vielen Ophthalmologen ist es gelungen, hierauf ein binoculares Sehen wieder herzustellen; letzteres gehört

gleichfalls zu den bedeutenden Vortheilen des operativen Verfahrens; ich komme später darauf noch zurück.

Ich erlaube mir als Beleg für das soeben Geschriebene eine Tabelle des Herrn W. Thier in Aachen anzuführen, aus welcher wir die Leistungsfähigkeit der operirten Augen bei Nahearbeiten in Zahlen beurtheilen können. Thier wählte hiezu mittleren Druck der im praktischen Leben am meisten gebraucht wird, etwa Jäger Nr. 7.

Ein 30jähriger vorher mit Myopie 13 D. behafteter Mann liest mit + 8 D. Jäger 7 in 12 bis 54 *cm* Entfernung vom Auge.

Eine 23jährige, vorher mit Myopie 13·3 D. behaftete Dame liest dieselbe Schrift mit + 10 D. in 7—38 *cm* Entfernung.

Ein 41jähriger, vorher mit 18 D. Myopie behafteter Mann liest dieselbe Schrift mit + 4 D. in 12—75 *cm* Entfernung.

Ein 24jähriger, vorher mit 15 D. Myopie behafteter Mann liest dieselbe Schrift mit + 5 D. in 10—37 *cm* Entfernung.

Ein 36jähriger, vorher mit Myopie 17 D. behafteter Herr liest mit + 4 D. in 15—39 *cm* Entfernung.

Eine 18jährige, vorher mit Myopie 13·33 D. behaftete Dame liest mit + 9 D. dieselbe Schrift in 10—38 *cm* Entfernung.

Ein 36jähriges Mädchen, vorher mit 18 D. Myopie behaftet, liest mit + 5 D. in $13^1/_2$—$35^1/_2$ *cm* Entfernung.

Ein 30jähriges Mädchen, vorher mit 17 D. Myopie behaftet, liest mit + 9 D. in 10—31 *cm* Entfernung.

Ein 15jähriger Junge, vorher mit 16 D. Myopie behaftet, liest mit + 8 D. in 20—56 *cm* Entfernung.

Ein 36jähriges, vorher mit Myopie 16 D. behaftetes Mädchen liest mit + 4 D. in 18—49 *cm* Entfernung.

Ein 28jähriger, vorher mit 13·5 D. Myopie behafteter Mann liest mit + 4 D. in 9—33 *cm* Entfernung.

Ein 31jähriger, mit 16 D. Myopie behafteter Mann liest mit + 4 D. in 12—37 *cm* Entfernung.

Ein 38jähriger Herr, vorher mit Myopie 16 D. behaftet, liest in 23—52 *cm* Entfernung.

Ein 20jähriger Mann, vorher mit Myopie 13·5 D. behaftet, liest mit + 8 D. in 20—41 *cm* Entfernung.

Eine 21jährige Dame, früher mit Myopie 13·5 D. behaftet, liest mit + 8 D. in 23—50 *cm* Entfernung.

Endlich ein 23jähriger Herr, vorher mit Myopie 16 D. behaftet, liest mit + 6 D. in 25—50 *cm* Entfernung vom Auge.

Während also im normalen Zustande das Accommodationsgebiet kaum einige Millimeter beträgt, hat Thier bei den publicirten 15 Fällen Distanzen für Nahearbeiten gefunden, welche einen **ausserordentlich günstigen Ersatz für die unverwertbare normale Accommodationsweite sind.** Diese Zahlen sind in Centimetern: 42, 31, 63, 27, 24, 28, 22, 21, 36, 31, 24, 25, 29, 21, 27 und 25. Selbst die kleinste dieser Zahlen, 21 *cm*, repräsentirt eine Leistungsfähigkeit, welche mit der bei Anwesenheit der Linse in keinem Verhältniss steht.

Ich muss hiebei ausdrücklich bemerken, dass damit ja nicht gemeint ist, als ob es sich hiebei um eine wirkliche, der physiologischen Accommodation gleichkommende muskulare Thätigkeit handeln würde; denn bei der physiologischen findet ein deutliches, ganz scharfes Sehen im Bereiche des ganzen Accommodationsgebietes, während es bei den operirten Myopen sich um eine Reduction der Zerstreuungskreise auf ein minimales Maass handelt. Wenn jedoch die Brille so gewählt wird, dass der Operirte in etwa 30 *cm* genau scharf sieht, dann kann er infolge der sehr geringen Zerstreuungskreise noch ein bedeutendes Stück vor der genannten Entfernung und ein gleich grosses hinter mit grosser Leichtigkeit sehen und lesen. Da hohe Myopen im Entziffern der Zerstreuungskreise eine oft unglaubliche Uebung haben — ich erinnere hier an den sehr ausgebildeten Tastsinn der

Blinden, welche fliessend mit Hilfe der Finger lesen — kommt es ihnen leicht an, bei geringen Zerstreuungskreisen lesen zu können. Genannter Ersatz der Accommodation entspricht einer Leistungsfähigkeit, welche allen im gewöhnlichen Leben vorkommenden Beschäftigungsweisen vollkommen entspricht.

Doch haben wir es in unserer Macht, mit Hilfe stärkerer oder schwächerer Convexgläser das Gebiet des deutlichen Sehens beliebig zum Auge zu nähern oder es zu entfernen. Thier beobachtete eine Reihe von Operirten mehrere Jahre hindurch, bei welchen diese günstigen Verhältnisse des deutlichen Sehens stets constant geblieben sind. Die Operirten fühlten sich jetzt im aphakischen Zustande so glücklich wie niemals vorher, indem sie Nahearbeiten in normaler Entfernung vom Auge mit Leichtigkeit verrichten konnten.

Auch ich habe hierauf, durch Thier aufmerksam gemacht, diese Leistungsfähigkeit operirter Myopen studirt und kann Thier's Angaben in jeder Beziehung bestätigen.

Die günstige Position aphakischer Myopen veranlasst Thier zu dem Entschlusse, hohe Myopen nicht, wie Schweigger es vorgeschlagen hat, erst von 16 Diop. zu operiren, sondern auch niedere Grade von 10, 12 der Behandlungsmethode zu unterwerfen; denn auch diese Myopiegrade haben mit ihrem Accommodationsgebiet und bei Nahearbeiten mit vielen Uebelständen zu kämpfen; auch die Convergenz lässt sie im Stich. Nach allen diesen Erwägungen kann ich Thier auch in dieser Beziehung beistimmen. Insbesondere gilt dies von jugendlichen Individuen, deren Myopie kaum jemals auf einem Punkte stehen bleibt, sondern meist rasche Fortschritte macht.

XII. Ueber die Anzeigen und Gegenanzeigen der Linsenextraction bei hoher Kurzsichtigkeit.

Es ist begreiflich, dass, nachdem Koryphäen wie v. Graefe, Donders und Arlt gegen die Operation sich un-

bedingt ausgesprochen haben, ich bei der Wahl meiner ersten Fälle zur Operation, äusserst vorsichtig sein musste.

Es war daher für mich gewiss keine leichte Aufgabe, die Indicationen und Contraindicationen festzustellen. Am sichersten glaubte ich den ersten Anfang bei ganz jungen Leuten machen zu können; denn bei diesen ist die Quellung der Linse und Aufsaugung der Linsenreste eine leichte.

Ich habe daher bei meiner ersten Publication im v. Graefe's Archiv die Ausführung der Discision bis zum 24. Lebensjahre empfohlen und auch ausgeführt.

Es dauerte nicht lange nachher, als auch viele andere Herren Operateure die Operation ausgeführt und mich dadurch in meiner schwierigen Aufgabe wesentlich unterstützt haben, wofür ich denselben hiemit meinen Dank offen ausspreche.

Es waren dies Herr Geheimrath Prof. Schweigger in Berlin, Herr Prof. Pflüger in Bern, welche über ihre Resultate zuerst am Congresse in Heidelberg 1892 berichtet haben (19).

Fast gleichzeitig mit genannten Herren hat Theodor v. Schröder in Petersburg seine ersten Operationen 1891 angefangen und publicirt (20).

Es war mir hierauf sehr angenehm zu erfahren, dass auch bei Myopen mit 35, selbst 40 Jahren ebenso günstige Resultate durch die Operation zu erzielen seien, wie bei Kindern und jungen Leuten um die Zwanzigerjahre.

Am internationalen Ophthalmologen-Congresse zu Edinburg 1894 theilte Prof. Pflüger mit, einen 48jährigen Arzt nach der gewöhnlich bisher geübten Methode mit sehr günstigem Erfolge operirt zu haben. Ich habe seither Muth gefasst, auch ältere Leute demselben Verfahren zu unterwerfen, und erhielt gleichfalls dieselben günstigen Erfolge.

Bezüglich der Sehschärfe habe ich mich veranlasst gefunden, erst dann zu operiren, wenn dieselbe mindestens 0·1 beträgt; in der Nähe muss das zu operirende Auge noch mindestens Schriftproben Jäger

Nr. 1, — zum mindesten aber Nr. 2 fliessend lesen können. Wo dies nicht stattfindet, dort ist ein wesentlicher Vortheil für das Auge nicht zu erwarten. Die Operirten sehen zwar etwas besser und deutlicher, doch sind sie mit dem Erfolge keineswegs so sehr zufrieden, wie dies im entgegengesetzten Falle stattfand, d. h. wenn sie Jäger Nr. 1 oder 2 fliessend lesen können.

Complicationen von Seite der Chorioidea sind durchaus keine Gegenanzeigen; dennoch dürfen sie nicht einen höheren Grad erreicht haben, wenn man das Auge der Operation unterwerfen will.

Bei meinen ersten Operirten habe ich Complicationen mit Chorioiditis von der Ausführung ausgeschlossen; die Begründung lag in grosser Vorsicht, mit der ich ans Werk gehen zu müssen glaubte. Zunächst war es Theodor von Schröder in St. Petersburg, welcher es unternommen hat, auch Augen mit Chorioiditis-Complicationen zu operiren; und Schröder hatte recht, da er auch hier glänzende Resultate erzielt hat.

Auch Prof. v. Hippel ist am Heidelberger Ophthalmologen-Congress 1893, gelegentlich eines Vortrages von mir, für die Ausführung der Operation bei Aderhauterkrankungen eingetreten. Dem gegenüber hat Prof. Raehlmann sich gegen die Operation bei Complicationen ausgesprochen, da nach seinen pathologisch-anatomischen Untersuchungen schwere Veränderungen der Gefässwandungen der Chorioidea stattgefunden haben, welche Anlass zu Chorioidealblutungen, selbst Abhebung der Netzhaut Anlass geben hönnen.

Herr Prof. Raehlmann hatte die Güte, mir seinen Befund der Degeneration der Gefässwandungen bei höchstgradiger Myopie schriftlich mitzutheilen, welchen ich hierauf in meinem Vortrag am Congresse zu Edinburg 1884 publicirt habe (21).

Raehlmann's Begründung und anatomischer Befund der Gefässe ist folgender:

„Die Axenverlängerung des Auges bei progressiver Myopie bedingt Ernährungsstörungen, welche namentlich die Choroidealgefässe betreffen, u. zw. an der Stelle, wo das Choroidealgewebe anatomisch am festesten mit der Sclera zusammenhängt, zwischen Opticus und der Macula lutea. An der erwähnten Stelle ist die Chorioidea durch die aus der Sclera kommenden Ciliargefässe und durch den Opticusquerschnitt selbst dauernd fixirt. Hier dehnt sich aber gerade die Membran bei progressiver Myopie, wenn sie mit der Sclera ausweicht, sehr stark, schliesslich atrophirt die Aderhaut an der betreffenden Stelle. Den atrophischen Processen gehen fast regelmässig Veränderungen der Gefässwand voraus, welche in einer sclerotischen Verdickung ihrer Wandungen bestehen.

Häufig ist diese Wandveränderung der Choroidealgefässe (Verdickung und Trübung) schon ausgesprochen zu einer Zeit, wo das Pigmentepithel noch erhalten oder theilweise geschwunden ist; dann schimmern die grauweissen bis gelben, trüben, das Licht zurückwerfenden Gefässe in unregelmässigen Strich- und Linienfiguren durch.

Bei stark fortschreitender Myopie treten gerade in solchen Augen häufig Blutungen auf, welche, an der veränderten Stelle liegend, den Vorgang der Atrophie ihrerseits vollenden, indem nach deren Resorbtion recht häufig eine atrophische Stelle in der Chorioidea mit oder ohne schwarze Pigmentmasse zurückbleibt.

Alle, was den intraocularen Druck plötzlich herabsetzt und dadurch den Seitendruck der betreffenden Gefässe plötzlich aufhebt, respective stark vermindert, muss die Entstehung solcher Blutungen befördern. In gleicher Weise tritt die Netzhautablösung auf, da nach Eröffnung der Augenkapsel die Wände derselben an die Netzhaut nicht mehr angedrückt werden.

Andere Verhältnisse finden bei der Discision junger Leute statt; die Quellung der Linse beeinflusst allerdings die

Spannung der Augenkapsel; von den jugendlichen Augen wird dieselbe, wenn die Discision vorsichtig ausgeführt und im richtigen Momente die Linsenmassen durch Punction entfernt werden, ohne Nachtheil ertragen, da die Dehnbarkeit der jugendlichen Sclera dem Operationsverfahren zugute kommt. Wenn bei der directen Extraction der durchsichtigen Linse ein myopisches Auge geöffnet wird, muss der Druck mehr oder weniger plötzlich sinken, und wenn die Linse dann entbunden wird, noch weiter fallen. Das kann bei gesunden Membranen und normalen Chorioidealgefässen gelegentlich schon zu Complicationen führen; bei krankhaften Veränderungen, wie sie bei progressiver Myopie vorliegen, werden diese Gefahren naturgemäss zu besonderer Vorsicht mahnen.

Die hier angeführten Druckverhältnisse sind Ursache, weshalb die directe Extraction der Linse oft schlechte Resultate ergeben hat.

Schliesslich, bemerkt Raehlmann, ist es klar, dass bei Myopie sehr hohen Grades, wenn den Augen durch Brillen nicht geholfen werden kann und der Patient im hohen Grade hilflos ist, sich die Operation auch trotz solcher Complicationen rechtfertigen lässt; denn schliesslich ist doch das Bedürfniss, dem Patienten zu helfen, auch ein Wagestück wert; dann kann ja die Operation eventuell den einzigen Ausweg bilden.

Im ganzen und grossen haben Operationen auch bei Complicationen von Chorioiditis recht gute, oft sogar glänzende Resultate ergeben und bilden daher erfahrungsgemäss keine besonderen Gegenanzeigen. Dennoch muss man auf eventuelle Blutungen gefasst sein, wenn man solche Augen operirt. Bei hohen Graden hingegen, wo die Sehschärfe unter das von mir angeführte Maass gesunken ist, würde ich abrathen, die Linsenextraction vorzunehmen; man läuft da grosse Gefahr, Aderhautblutungen und Netzhautabhebung zu

bekommen. Es ist fraglich, ob es sich lohnt, wegen einer geringen Verbesserung des Sehvermögens, wie sie in solchen Fällen erzielt werden kann, so schweren Gefahren das Auge auszusetzen.

XIII. Bis zu welchem Alter kann man die Operation ausführen?

Bekanntlich habe ich meine ersten Operationen nur an jugendlichen Individuen ausgeführt. Die Begründung dieser Handlungsweise lag darin, dass die Discision in vorgerückten Jahren nur schwierig oder nicht anwendbar ist. Entweder ist die Quellung der Linse eine nicht genügende, oder es treten bei Erwachsenen leicht Reizerscheinungen auf, die Veranlassung zu entzündlichen Processen geben können. Aus diesem Grunde wollte und konnte ich mich anfangs nicht Gefahren aussetzen, die leicht bösen Schaden hätten anrichten können.

Prof. Pflüger hat jedoch bald darauf auch Erwachsene, selbst ältere Myopen dem Verfahren mit sehr gutem Ersatze unterzogen; sein ältester Patient war 48 Jahre alt.

Spätere Versuche haben ergeben, dass sich auch noch ältere Leute zu der Operation ganz gut eignen, dass also höheres Alter kein Hinderniss bildet. Am jüngsten Congresse zu Heidelberg (22) berichteten die Prof. v. Hippel und Sattler, ältere Leute bis zu 64 Jahren nach dem üblichen Verfahren mit gutem Erfolge operirt zu haben.

v. Hippel und Sattler haben nämlich gefunden, dass die Linse höchstgradiger Myopen dem Sclerosirungsprocess nicht unterliege.

Diese Erfahrung ist für uns von grosser Wichtigkeit, da auch ältere Leute gute Hoffnung haben, von höchster Kurzsichtigkeit befreit werden zu können.

XIV. Soll ein oder beide Augen operirt werden?

In meiner ersten Publication plaidirte ich die doppelseitige Operation; ich begründete meine Ansicht mit der Herstellung des binocularen Sehens, welches die Operirten thatsächlich in vielen Fällen wieder erlangt haben.

Dagegen sind einige Herren Collegen für die einseitige Operation eingetreten; sie begründeten ihr Urtheil damit, dass die Operirten das operirte Auge für die Ferne, das andere zu Nahearbeiten benützen können. Zuerst hat Theodor v. Schröder sich dahin ausgesprochen und geschrieben, dass er die Herstellung des binocularen Sehens für keinen Vortheil halte. Auch die Herren Prof. Schweigger und Pflüger haben anfangs nur ein Auge operirt.

Andere Herren Ophthalmologen haben hingegen entschieden für die Operation beider Augen gesprochen; so v. Hippel, Schmidt-Rimpler, Sattler u. a.

Ich werde darauf noch später zurückkommen und wiederhole, dass ich bei meiner ersten Ansicht verbleibe.

XV. Das Operationsverfahren.

Die Wahl einer richtigen Operationsmethode ist die wichtigste Frage; denn man wusste ja, dass höchstgradige Myopen ohne die Linse viel besser daran sind; aber wie soll man dies auf einem ungefährlichen Wege erreichen?

Dass die directe Extraction der durchsichtigen Linse nicht die richtige Methode ist, hat man öfter zu beobachten Gelegenheit gehabt (Valude (23), Ruiz & König (24); auch Mooren's schlechte Erfahrungen sind zum Theil dieser Methode zuzuschreiben.

Nach den Beobachtungen der Erfolge der Discision mit nachfolgender Punction der Cornea konnte ich a priori

schliessen, dass diese Methode wohl die besten Resultate liefern dürfte. Meine Voraussetzung ist thatsächlich eingetroffen, und bis heute hat dieser Operationsmodus allerseits die besten und sichersten Resultate ergeben, daher sich auch allgemein eingebürgert

Ich habe daher nach 23 Versuchen die Discision als die bestgeeignete Operation in meiner ersten Publication (v. Graefe's Arch. f. Ophth. 36, 2) empfohlen.

Doch muss ich hier erwähnen, dass ich von meiner ersten Behandlungsweise in gewissen Punkten abgewichen bin. Auch hier waren mir maassgebend Sicherheitsrücksichten. Namentlich habe ich in zweifacher Beziehung die Methode geändert, indem ich gegenwärtig:

1. die Linse sofort bei der ersten Operation sehr ausgiebig zerschneide;

2. die Iridectomie äusserst selten vorausschicke.

Wie erwähnt, habe ich anfangs probeweise der Linse nur seichte Schnitte beigebracht, um ihr Quellungsvermögen erproben zu können; denn man hat mir von mancher Seite vorgeworfen, dass eine stürmische Linsenquellung durch Drucksteigerung verderblich sein könnte. Wenn man speciell dieser Besorgniss durch seichte Schnitte ausweichen will, dann muss man sich gefallen lassen, dass sich der Verlauf der Heilung ungemein in die Länge zieht; es vergehen oft 6 bis 8, 9 Monate, ehe die ganzen Linsenmassen aufgesaugt worden sind, und oft geht die Geduld der Patienten dabei schnell zu Ende, weshalb sie sich schwer zur Operation des zweiten Auges entschliessen können.

Dagegen hat eine ausgiebige Discission vieles für sich. Vor allem ist der Verlauf der Heilung dadurch ausserordentlich beschleunigt, ohne dass man die Gefahren einer stürmischen Linsenquellung zu fürchten hätte; denn wenn letztere eingetreten ist, kann man ihr durch rechtzeitige Punction sofort abhelfen.

Der Vortheil, den man dadurch erreicht, ist ein zweifacher; erstens hört die Drucksteigerung hierauf sofort auf, und zweitens wird der Verlauf des ganzen Heilverfahrens enorm abgekürzt; man kann auf diese Weise oft schon in 4 Wochen den Heilverlauf beendet haben, während die Resorption der Linsenmassen 6—8 Monate in Anspruch nimmt.

Ich möchte sogar mich dahin ausdrücken, dass ich jetzt die früher so gefürchtete stürmische Linsenquellung anstrebe, da eine rasche Heilung mir sehr erwünscht ist.

Mein Operationsverfahren ist hiemit nachstehendes. Nachdem ich den Bindehautsack mit einer Sublimatlösung von 1:4000 gründlich gereinigt habe und auch die äussere Lidhaut, besonders aber den Lidrand und die Wimpern sorgfältig mit der Lösung behandelt und die Pupille ad maximum erweitert habe, führe ich nahe am Rande der Cornea ein schmales Graefe'sches Messer ein und steche tief in die Linse ein; hiebei trachte ich die Linse im Innern vorerst durch mehrere, etwa 3—4 Schnitte möglichst zu zerstückeln; falls es in manchem speciellen Fall nöthig erscheint, steche ich in derselben Sitzung ein zweitesmal in die Cornea ein, um sofort die Linse kreuzweise vielfach zu zerschneiden. Der Patient bleibt hierauf den ersten Tag im Bette; namentlich aber soll ein Verkühlen sehr gemieden werden, da nach meinen Erfahrungen Entzündung der Iris böse Folgen haben könnte.

Dass man vorerst das Auge durch Cocain anaesthesiren und nach allen Regeln der Asepsis vorgehen müsse, braucht nicht erst erwähnt zu werden; man muss bedenken, dass das Messer tief in das Innere des Auges hineindringt und das Eindringen von Bacterien Verlust des Auges nach sich ziehen könnte.

Nur ausnahmsweise trat eine krampfhafte Contraction des Sphincter pupillae ein, welcher trotz Atropinisirens nicht weichen wollte; in diesen Fällen tritt Dilatation rasch nach



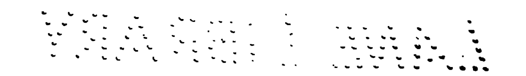
Auflegen eines Eisbeutels ein. Furchtsame Kinder müssen narkotisirt werden. Die Discission wäre hiemit als erster Theil des operativen Verfahrens zu betrachten.

Der zweite Theil des letzteren ist die Punction oder Extraction der Linsenmassen. Nach der Zerstücklung der Linse, welche manchmal zwei-, selbst dreimal wiederholt werden muss, tritt früher oder später (oft schon am nächsten Tag) eine Zerklüftung ihrer Massen auf, welche bald wieder in einen flüssigen, breiartigen Zustand übergehen; der Brei füllt die Vorderkammer ganz aus und bedeckt die Iris. Gleichzeitig treten damit subjective und objective Reizerscheinungen ein, welche, wenn sie länger dauern, zum Verlust des Auges durch Entzündung und Drucksteigerung (wie bei Secundärglaucom) führen können.

Die subjectiven Symptome bestehen in Schmerz im Auge, an der Stirne längs des Verlaufes des Trigeminusastes und Lichtscheu, so dass das Auge nicht geöffnet werden kann. Nebstbei spüren die Operirten im Auge einen Druck und besonderen Schmerz bei Berührung. Die Bindehaut ist geröthet, es fliessen Thränen, die Ciliarinjection ist bedeutend, Oberfläche der Hornhaut glanzlos, gestichelt; die Spannung des Auges ist unter den genannten Verhältnissen immer erhöht.

In diesem Zustande darf der Arzt nicht länger zuwarten, es muss sofort zur Extraction der Massen geschritten werden. Die Operation wird meist mit einem Lanzenmesser ausgeführt; doch bedienen sich manche Operateure auch eines Graefe'schen oder Zehender'schen Messers (v. Schröder). Man sticht also an irgend einem Theile der Cornea nahe dem Rande ein; doch darf der Einstich nicht ganz am Rande sein, da dies eine Irisprolaps oder Einklemmung zur Folge haben könnte.

Die Frage, ob man oben, unten oder an einer Seite einstechen solle, kann nicht präcise beantwortet werden. Denn manche Operateure stechen mit Vorliebe oben ein,



andere an einer anderen Seite. Im Allgemeinen dürfte es am besten sein, oben zu punctiren; denn dort wird eine etwaige Verziehung der Pupille durch Iriseinklemmung am wenigsten auffallend. Doch richtet sich diese Frage auch nach der Stelle, wo die meisten Linsenmassen liegen; dann sticht man auch dort gleich ein und entleert hiemit den grössten Theil des Linsenbreies. Die Grösse der Wunde richtet sich nach der Art des Breies, da ein ganz flüssiger eine kleinere, ein Brei aber in festerer Form eine grössere Wunde erheischt.

Manche Operateure hingegen stechen wie bei einer regelrechten Staaroperation ein, indem sie einen kleinen Bogen hiebei bilden (v. Schröder); diese Methode hat den Vortheil, dass durch sie vielmehr Linsenmassen auf einmal heraustreten. Sie birgt dagegen die Gefahr in sich, die jede grössere Hornhautwunde verursachen kann, und kann sogar Vorfall einer grösseren Menge von Glaskörper nach sich ziehen, welchen wir zu vermeiden haben.

Die Punction kann man nach Bedarf zwei, selbst dreimal ausführen. Gleich nach der Operation tritt eine ganz schwarze Lücke — Pupille — auf, und die Kranken sind in diesem Momente sehr erfreut, jetzt schon gut zu sehen. Doch dauert ihre Freude gewöhnlich nicht lange, da die schwarze Lücke bald wieder durch nachrückende Linsenmassen verlegt wird; der Rest wird der Resorption überlassen. Auch alle anderen subjectiven und objectiven Reizerscheinungen haben nach der Entfernung der Linsenmassen mit einem Schlag aufgehört; der Schmerz schwindet, das starke Thränenfliessen hört sofort auf, und hiemit fühlen sich die Patienten ganz wohl.

v. Hippel und Sattler empfehlen die Punctionswunde in der Hornhaut so anzulegen, dass sie senkrecht auf den Meridian der stärkeren Krümmung zu liegen komme; letzterer muss mit dem Javal'schen Ophthalmometer vorher ermittelt werden.

Die Punction kann man in der Cocainanaesthesie vornehmen; wenn jedoch die Kranken sehr furchtsam sind und

man darauf nicht rechnen kann, dass sie gut halten, dann operirt man viel sicherer in der Narkose (Aether). Letztere ist ferner bei allen Kindern angezeigt und auch dann, wenn die Patienten grosse Lichtscheu haben.

Die kürzeste Dauer der Heilung ist 3 Wochen, die längste 6. Während dieser Zeit können die Operirten, wo dies nothwendig ist, auch einer leichteren Beschäftigung nachgehen oder die Schule besuchen; dagegen würde ich vor schweren Arbeiten, die viel Kraft in Anspruch nehmen (Holzhacken, Schlosserarbeiten, etc.), dringend abrathen, da ich befürchte, die starke Erschütterung des Körpers könnte eine Netzhautablösung begünstigen.

Einer besonderen Besprechung bedarf die Iridectomie Ich habe sie anfangs bei mehreren Fällen der Discission vorausgeschickt, u. zw. aus nachstehenden Gründen:

1. Sie sollte ein Mittel gegen die früher so gefürchtete Drucksteigerung bei stürmischer Quellung der Linse sein.

2. Bei älteren Leuten gewährt sie eine gewisse Sicherheit vor gefährlichen Entzündungen.

Selbstverständlich muss die Iridectomie stets oben angelegt werden, um möglichst wenig das Auge zu entstellen.

In letzten Jahren jedoch habe ich mich überzeugt, dass der Nutzen der Iridectomie keineswegs so bedeutend ist, wie man dies theoretisch glauben würde. Ich habe mich hierauf bemüht, die Vor- und Nachtheile der Iridectomie zu studiren, um daraus eine Indication für ihre Nothwendigkeit aufzustellen.

Fragen wir vorerst, ob sie als ein Mittel gegen die Drucksteigerung nothwendig ist?

Sie ist in dieser Beziehung gewiss überflüssig; denn man hat ja ein viel einfacheres und rationelleres Mittel in der Punction; die Iridectomie lässt Spuren zurück, welche fürs Lebenlang zurückbleiben, das Auge dauernd entstellen; die Iridectomie hat Blendung und ein Herabsetzen des Sehvermögens zur Folge. Im letzten Decennium, wo die Tendenz immer mehr zu Tage tritt, Staaroperationen ohne Iridectomie

auszuführen, erscheint auch die Iridectomie bei Myopie-Operationen als ein überflüssiges, sogar für das Sehen nachtheiliges Mittel.

Um mir jedoch ein Urtheil über die Nothwendigkeit der Iridectomie bei Myopie-Discissionen schaffen zu können, habe ich vor 4 Jahren eine Reihe von Operationen mit, und eine zweite ohne Iridectomie ausgeführt. Da hat es sich ergeben, dass das Sehen der nicht Iridectomirten im Durchschnitte ein besseres gewesen ist als das der Iridectomirten; es ist dies dasselbe Resultat, welches wir bei Staaroperationen finden.

Dennoch glaube ich, dass bei älteren Myopen die Iridectomie eine gewisse Sicherheit der Operation gewährt; insbesondere gilt dies dann, wenn man nachher bei der Extraction eine grössere Cornealwunde setzt. Nur solle man nicht ein zu breites Stück Iris ausschneiden.

Hier muss ich über eine von Sattler mehreremals ausgeführte Methode berichten (Ophth. Congress zu Heidelberg, 1895, S. 30). Sattler hat bei einer 48jährigen Frau nach vorausgegangener Iridectomie die Trituration der Linse nach Förster ausgeführt, nach 8 Tagen wurde discidirt, 6 Tage später die Linse durch Linearschnitt extrahirt; der Erfolg war sehr gut, indem die Operirte nach 14 Tagen mit gutem Sehen entlassen worden ist. Bei einer anderen, 62jährigen Frau wurde gleichfalls vorerst die Linse beider Augen nach Förster'scher Methode während 7 Wochen getrübt; 4 Wochen später wurde beiderseits Extraction mit dem Bogenschnitte an der Scleralgrenze ausgeführt; auch hier war der Erfolg befriedigend.

XVI. Die Extraction der durchsichtigen Linse.

Die ersten Versuche, das Brechungsvermögen des höchstgradig myopischen Auges durch die Aphakie herabzusetzen, bestanden in der directen Extraction der durchsichtigen Linse. Mooren war der erste, welcher am Congresse zu

Heidelberg im Jahre 1858 die Sache zuerst zur Sprache gebracht hat (25). Seither soll sie Dr. Wm. Smithin Chicago im Jahre 1880 an beiden Augen eines 35jährigen Buchhändlers ausgeführt (26) haben; der Operirte soll hierauf eine fast normale (?) Sehschärfe erlangt haben.

Es erzählte ferner Dr. Wecker bei einer Ophthalmologen-Gesellschaft in Paris, dass auch Adolf Weber vor etwa 35 Jahren diese Operation bereits ausgeführt (27) habe.

Die grösste Zahl von Linsenextractionen (durchsichtiger Linse) hat Vacher in Orleans gemacht (28). Doch hat Vacher die Operation ausgeführt weniger in der Absicht, die übermässige Brechkraft des Auges herabzusetzen, als vielmehr „als ein Mittel, um bei ausgebreiteter Aderhautentzündung die drohende Netzhautablösung hintanzuhalten"; dies besagt schon der Titel seiner Publication „prophylaxie du décollement de la rétine par l'extraction du cristallin transparent". Ob dies Vacher gelingt, das müssten Versuche Anderer beweisen; wenigstens haben die Operationen, welche Valude nach seiner Methode ausgeführt hat, die entgegengesetzte Wirkung gehabt. Ich meinerseits kann Vacher nicht beipflichten.

Hier muss ich bemerken, dass die in einigen Werken enthaltenen Notizen, Vacher hätte seine Operationen schon vor mir ausgeführt (29), auf einem Irrthum beruhen; vielmehr hat Vacher in seiner Publication geschrieben (S. 678 l. c.), dass er seine ersten Operationen im April und October 1889 ausgeführt hat, während ich meine erste Myopie-Discission im April 1887 — also um 2 Jahre früher vollführte; man findet dies in meiner ersten Veröffentlichung im v. Graefe's Archiv f. Ophth. 36, II, 232.

XVII. Vortheile der Aphakie bei höchstgradiger Myopie.

1. Deutliches Sehen in die Ferne.

Dies ist der grösste Vortheil, den die Operirten zunächst empfinden; sie sind höchst erfreut, in die Ferne rein

und klar sehen zu können, wie sie vorher mit keinem anderen Instrumente sehen konnten. Denn starke Convexgläser sind plump und schwer und werden kaum jemals von ihnen vertragen. Da sie am Rande sehr dick sind, wirken sie prismenartig, weshalb die Gegenstände verzerrt erscheinen. Ein weiterer Nachtheil starker Concavgläser ist die falsche Projection, von welcher eingangs ausführlicher gehandelt wurde.

Ein Hauptnachtheil starker Concavgläser ist die Verkleinerung; sie haben nämlich die schlechte Eigenschaft, dass der zweite Knotenpunkt nach rückwärts verlegt wird; dadurch wird das Netzhautbild entsprechend kleiner; da nebenbei bei höchstgradiger Myopie stets die Sehschärfe durch die Dehnung der Chorioidea und Netzhaut bedeutend gelitten hat, empfinden Myopen ihr Leiden im potenzirten Grade.

Nach der Entfernung der Linse sehen die Leute in die Ferne deutlich ohne Gläser, erkennen die Gegenstände und werden fähig, ihren Beruf wieder ausüben zu können.

2. Die Verbesserung des Sehvermögens.

Zunächst bemerke ich hier, dass ich gegenwärtig den Ausdruck „Sehschärfe“, welchen ich früher in meinen Publicationen gebraucht habe, nicht anwende; ich spreche also nicht mehr von einer „Verbesserung der Sehschärfe“; denn unter letzterer verstehen wir eine specifische Leistungsfähigkeit der Netzhaut, die Bilder zum Bewusstsein zu bringen; von letzterer ist aber hier keine Rede; sie wird durch die Operation vielleicht nicht alterirt.

Trotzdem müssen wir zugeben, dass bei allen Operirten das Sehen viel besser geworden ist; in erster Linie bemerken wir dies bei den üblichen Sehproben, dass die operirten Myopen 2-, 3-, 4-, selbst noch mehrmals besser sehen als vorher. Es treten nämlich durch das Wegfallen der Linse ausserordentlich günstige optische Verhältnisse ein, wodurch das Sehvermögen im hohen Grade zugenommen hat.

Die Verbesserung des Sehens ist nächst dem deutlichen Sehen in die Ferne ein ausserordentlicher Vortheil, welchen alle Operirten nicht genug zu rühmen wissen. Ich muss gestehen, dass ich mir eine so bedeutende Verbesserung der Sehkraft von vornherein nicht versprochen habe; denn wie bekannt, erlangt man nur äusserst selten nach Staaroperationen die normale Sehkraft, d. h. der Operirte sieht nach der Operation niemals so gut, wie zur Zeit, bevor er die Cataracta erhalten hat.

Als ich daher die Sehproben bei den erst Operirten vorgenommen hatte, war ich auf's angenehmste überrascht, eine so bedeutende Verbesserung des Sehvermögens erlangt zu haben; die Verbesserung war constant bei allen Fällen, bei manchen sogar eine ausserordentliche.

Warum sehen die Operirten viel besser als vorher? Vor allem werden die Netzhautbilder etwa zweimal grösser; doch genügt dies allein noch nicht zur Erklärung; denn unser Sehen ist nicht allein vor der Grösse der Netzhautbilder und der Perception der Retina abhängig; es gibt eben noch andere Verhältnisse, die dazu viel beitragen; davon werde ich am Ende ausführlicher handeln. Namentlich ist hiebei sehr thätig die Menge der Strahlen, welche zur Beleuchtung der Bilder beitragen; denn die Convexgläser sammeln alle Strahlen und bewirken ein hellbeleuchtetes, deutliches Bild; Concavgläser hingegen zerstreuen die Strahlen, was zur Folge hat, dass nur ein geringer Theil der Strahlen zur Bildung der Bilder beiträgt, während ein grosser Theil für das Auge verloren geht. Man kann sich leicht davon überzeugen, wenn man abwechselnd ein stärkeres convexes und concaves Glas zwischen einem weissen Papiere und einer Lichtquelle (Flamme einer Kerze) hält; wenn wir ein convexes, z. B. 20 Dioptr. nehmen, dann sehen wir am Papier sämmtliche Strahlen, welche auf die Oberfläche der Linse auffallen, in der Mitte des Bildes versammelt; um den lichten Punkt hingegen ist ein dunkler, schwach be-

leuchteter Hof; inmitten des letzteren sticht die beleuchtete Mitte desto schöner und auffallender ab.

Ganz entgegengesetzt verhält es sich mit der Beleuchtung bei starken Concavgläsern; zunächst entsteht, wenn wir ein Concavglas von 20 D. nehmen, in der Mitte ein dunkler Hof, um welchen ein lichterer grösserer Kreis zu sehen ist. Bei einem höchstgradig kurzsichtigen Auge hat das corrigirende Concavglas von 20 D. die beschriebene Wirkung: auf den centralen Theil (welcher der Macula lutea entspricht) fällt der intensivste dunkle schattige Theil, und der lichte Theil wird nach der Peripherie hin zerstreut. Daher sieht der Kurzsichtige durch das corrigirende Concavglas viel dunkler und schwächer als etwa der hochgradige weitsichtige (Aphakische) durch das gleichnamige starke Convexglas.

Und hierin liegt ein grosser Theil der Ursache der Verbesserung des Sehens bei Myopen höchsten Grades nach der Aphakie. Eine Erklärung dieser Erscheinung und mathematische Berechnung der Strahlenmenge folgt am Schlusse dieses Werkes. Je grösser die Entfernung zwischen dem Hornhautscheitel und dem corrigirenden Glas ist, desto bedeutender ist die Abnahme der Lichtintensität; wenn es also möglich wäre, die corrigirende Brille dicht an die Augen anzulegen, dann wäre der Unterschied in der Beleuchtung des Bildes an der Macula lutea ein nicht bedeutender; leider ist aber ein solches Tragen der Brille dicht an den Augen unmöglich, weil die Lider dazwischen Platz haben müssen; und mit jeder weiteren Entfernung der Brille vom Auge nimmt auch die Intensität der Beleuchtung des Netzhautbildes bedeutend ab.

Der Gewinn an intensiveren, besser beleuchteten Bildern steigert sich dann, wenn nach der Aphakie noch ein Convexglas zur Correction für die Ferne sich nothwendig erweist, da die Operirten desto besser ausgeprägte Netzhautbilder bekommen.

Auf die Vor- und Nachtheile der Convex- und Concavbrillen durch Zunahme und Abnahme der Beleuchtung hat zuerst Fritz Schanz in Dresden in einer Publication im v. Graefe'schen Archiv für Ophthalmolopie aufmerksam gemacht (32).

Meine ersten Angaben über die vielfache Zunahme des Sehvermögens nach der Aphakie sind anfangs vielfach bezweifelt, selbst bestritten worden. Geheimarth Schweigger hat eine geringe Verbesserung allerdings zugegeben, darüber sich jedoch nachstehend geäussert:

„Eine kurze Erwähnung verdient noch die von Fukala behauptete Verbesserung der Sehschärfe durch die Operation. Trübung der Linse ist in diesen Fällen nicht vorhanden, also kann auch eine Entfernung derselben die Sehschärfe nicht verbessern, und ebenso wenig kann dadurch die Leistungsfähigkeit der Retina gesteigert werden. Die Vermuthung liegt also nahe, dass die behauptete recht erhebliche Verbesserung der Sehschärfe wesentlich ihren Grund hat in Fehlerquellen bei der Untersuchung derselben, welche sich mehr oder weniger vermeiden lassen“ (30).

Ich gestehe gerne, dass man bei Untersuchungen leicht kleine Fehler begehen könne; aber von einer Reihe so grosser Fehler, die ich dabei begangen hätte, kann keine Rede sein, da ich jeden meinen erst Operirten vielfach mit und ohne Atropin untersucht hatte. Nebenbei berufe ich mich auch auf alle anderen Herren Operateure, welche gleichfalls eine vielfache Verbesserung des Sehens constatirten, und deren Zuverlässigkeit über alle Zweifel erhaben ist; so erwähnt beispielsweise Prof. Vossius, dass bei allen seinen Operirten und Publicirten Zweifel über die Genauigkeit ausgeschlossen sind, da Vossius jeden Fall mit Gläsern und durch Skioskopie untersucht und so den Myopiegrad genau bestimmt hat.

Mit Schweigger theilte die Berliner Schule dieselbe Ansicht, so Silex und Horstmann.

Diese Ansicht ist an und für sich vollkommen richtig; doch müssen wir berücksichtigen, dass das Sehvermögen (nicht die Sehschärfe!) nicht einzig und allein von der Perceptionsfähigkeit der Netzhaut und der Durchsichtigkeit der Medien abhängig ist; einen hervorragenden Theil an derselben hat auch die optische Construction des Sehapparates; darauf beruht ja z. B. die Wirkung des Opernglases, Teleskopes und Mikroskopes; wiewohl letztere die Augenmedien nicht klarer machen, verbessern sie dennoch das Sehen. Trotz alledem wird eine gewisse Verbesserung des Sehvermögens auch von der Berliner Schule zugegeben.

In ganz gleichem Sinne hat sich Prof. v. Hippel am Ophthalmologencongress in Heidelberg 1893 darüber ausgedrückt (Seite 197): „Ob man durch die Operation eine sehr wesentliche Zunahme der Sehschärfe erzielen kann, das möchte ich vorläufig dahingestellt sein lassen; ich könnte mir dieselbe nur dadurch erklären, dass die Patienten nicht mehr genöthigt sind, starke Concavgläser zu brauchen, also grössere Netzhautbilder bekommen als früher; dass hierdurch aber eine Steigerung der Sehschärfe um das Vier- oder Fünffache herbeigeführt werden sollte, scheint mir schwer verständlich.“

Zu meiner Genugthuung für die Zweifel des Herrn Geheimraths v. Hippel kann ich jedoch anführen, dass Herr Prof. v. Hippel bald Gelegenheit hatte, sich von der Richtigkeit meiner Angaben zu überzeugen. Er operirte im nächsten Jahre darauf 30 Myopen hohen Grades und erhielt dabei eine Verbesserung nicht nur um das Vier- bis Fünffache, sondern sogar um das Sechs- bis Siebenfache (31); bei zweien war die Verbesserung 6fach, bei dreien 7fach; also gewiss prachtvolle Resultate!

Doch noch mehr! Am jüngsten Congress zu Heidelberg 1895 (siehe dessen Bericht) theilte v. Hippel mit, bisher

60 Fälle operirt zu haben; das Sehvermögen ist hiebei um das Vier- bis Zehnfache gestiegen.

Sehen wir uns um, wieso es kommt, dass Geheimrath Schweigger eine ganz geringe Verbesserung des Sehvermögens bei seinen Operirten gefunden hat. Die Erklärung hierfür ist sehr einfach zu finden. Schweigger untersuchte seine Operirten nicht, wie dies allgemein üblich ist, durch Vorhalten des corrigirenden Glases in 12 bis 15 *mm* Distanz, sondern er legt das Glas fast an die Hornhaut an, wie dies aus allen seinen Publicationen zu entnehmen ist. Ebenso untersuchte auch Professor Vossius.

Es wird durch diese Untersuchungsmethode allerdings der richtige Myopiegrad gefunden; denn es ändert sich bei der Distanz von 12 bis 15 *mm* die Nummer des erforderlichen Glases ausserordentlich in der Art, dass hierzu ein stärkeres Glas erforderlich ist. Beispielsweise braucht man statt eines Concavglases von 16 D., welches dicht an die Cornea angelegt ist, bei einer Distanz von 12 *mm* vor demselben Auge zur Correction für parallele Strahlen nicht ein Glas von 16 D., sondern 20 D.! Da letzteres Glas viel stärker ist, hat es zur Folge eine weitere Verkleinerung des Netzhautbildes und Abnahme seiner Lichtintensität.

Man berechnet dies einfach nach der Formel

$$f = d - r$$

wobei f die Brennweite des Glases, d dessen Abstand von dem Auge und r den Fernpunkt des Auges in Millimetern bedeutet. Umgekehrt berechnet man nach derselben Formel den Grad der Myopie in Dioptrien, indem man den Fernpunkt r bestimmt und 1000 (*mm*) dadurch dividirt; also

$$r = d - f.$$

Nehmen wir also bei einem Concavglas von 20 D.

$$f = \frac{1000}{20(\overline{D})} = 50,$$

so bedeutet 50 *mm* die Brennweite des corrigirenden Glases; dieselbe ist negativ, da alle Concavgläser negative Brennweite

haben; $d = 12$, da man gewöhnlich alle Brillen in 12—15 *mm* Entfernung von den Augen trägt, daher ist

$$r = d - f = 12 + 50 = 62.$$

Der Fernpunkt dieses Auges ist also in 62 *mm*; daher ist der reelle, d. h. wirkliche Grad der Myopie $\frac{1000}{62} = 16$ D.; es wird nach dem Geschilderten eine wahre Myopie von 16 D. (deren Fernpunkt in 62 *mm* vor der Cornea liegt), in der Distanz von 12 *mm* für parallele Strahlen durch ein Glas von 20 D. corrigirt!

Je geringer der Grad der Myopie und schwächer das Concavglas, desto geringer ist auch der numerische Unterschied zwischen dem in 12 *mm* *d* corrigirenden Glas und dem wirklichen Myopiegrad; es ist darnach eine Myopie von 10 D (Fernpunkt 112 *mm*) eigentlich reelle Myopie von 8·33 D

M. 15 D., $d = 12$ *mm*, $r = 78{\cdot}6$ *mm*, reelle M. 12·8 D.
M. 20 D., $d = 12$ *mm*, $r = 62$ *mm*, reelle M. 16 D.
M. 25 D., $d = 12$ *mm*, $r = 52$ *mm*, reelle M. 19 D.

Wenn also ein Myope reelle M. 19 D. hat, dann braucht er als Fernglas — 25 D.! Um so viel wird auch dementsprechend das Netzhautbild kleiner. Prof. Vossius in Giessen operirte einen jungen Mann, welcher durch Vorhalten eines Concavglases von 30 D. ganz nahe am Auge Einstellung für parallele Strahlen bekam; derselbe müsste nach dieser Berechnung in 12 *mm* Entfernung ein Glas von 45 D. (!) tragen; es ist also der numerische Unterschied zwischen beiden Distanzen gleich 15 D.!! Ich brauche nicht zu sagen, dass eine Concavbrille von 45 D. weder existirt, noch unter keinen Umständen getragen werden könnte. Es kann da wahrlich die Linsenextraction die einzige Möglichkeit sein, um den Unglücklichen ein besseres Sehvermögen herstellen zu können.

Es ist demnach die Ansicht Schweiger's vollkommen richtig, dass man durch unmittelbares Vorhalten des Glases dem richtigen Myopiegrad sich nähert und auch die wahre sogenannte Sehschärfe annähernd bestimmt; vom theoretischen

Standpunkte würde ich gegen diese Methode nichts einwenden; aber mit der Praxis verträgt sich diese Theorie nicht. Denn alle Augenärzte sind gewöhnt, Sehproben durch Vorhalten der Gläser in 12 *mm* zu bestimmen. Von grösserer Wichtigkeit ist jedoch der Umstand, dass der Fall undenkbar ist, dass Myopen Brillen tragen könnten, welche an den Augen anliegen, da die Lider dabei keinen Raum hätten. Zweitens müssen wir beim Bestimmen des Sehvermögens dieselben Verhältnisse berücksichtigen, unter denen die Brillen dauernd getragen werden können und den Myopen eine ständige Verbesserung der Fernsicht gestatten; letzteres ist nur bei 12 *mm* möglich. Nur dann können wir uns ein Urtheil verschaffen, um wie viel der Myope jetzt besser sieht als früher, — und um wie viel er jetzt besser daran ist; wir müssen, anders gesagt, die optischen Verhältnisse in die Rechnung einbeziehen, und letztere gestalten sich durch das Vorsetzen der Brillen in allen Fällen anders.

Die Methode Schweigger's ist jedoch für den Augenarzt sehr werthvoll, insbesondere zur Controle, um zu erfahren, inwieferne sich die optischen Verhältnisse günstiger gestaltet haben; ich würde daher mir erlauben den Vorschlag zu machen, jeden zu Operirenden vor und nachher nach beiden Methoden zu untersuchen und die Resultate hierauf mit einander zu vergleichen.

Die Frage, wieso es kommt, dass das Sehvermögen nach der Aphakie sich gehoben hat, kann nicht so leicht beantwortet werden, wie man es glauben würde. Ausser der Vergrösserung der Netzhautbilder treten noch verschiedene andere günstige Verhältnisse hinzu. Von letzteren werde ich am Schlusse ausführlicher handeln. Ueber die Sehschärfe nach der Operation ist am letzten Congresse in Heidelberg viel discutirt worden. Ich habe schon bei meiner ersten Publication dies betont, dass das Sehen erst nach längerer Zeit — also nach Monaten, selbst nach einem Jahre — sich günstiger gestaltet.

Ich wiederhole nochmals, dass Fälle öfter vorkommen, bei denen nach mehreren Monaten oder einem Jahre nach der Heilung eine Verbesserung des Sehens von 0·1 auf 0·8 bis 0·9 constatirt worden ist; erst vor kurzem hatte ich Gelegenheit, einen 30jährigen Mann 5 Monate nach der Entlassung untersuchen zu können: Vor der Operation sah er mit — 18, 0·1., jetzt ohne jedes Glas (Emm.) 0·9. Solche Thatsachen, die von sehr viel Operateuren gleichzeitig bestätigt werden, können nicht rundwegs bestritten werden.

v. Hippel schliesst von dem Umstande, dass das Sehen erst nach längerer Zeit sich erheblich bessert, dass höchstwahrscheinlich eine successive Besserung der Netzhautfunction eintritt. Dieselbe ist auch leicht dadurch erklärlich, dass das Auge vorher nicht gewöhnt gewesen ist, in die Ferne deutlich zu sehen; durch längere Uebung im Fernsehen lernt es auch langsam, die Gegenstände immer besser zu erkennen. Es erlangt die Netzhaut, welche vorher nie ein Fernsehen besass, eine Uebung im deutlichen Sehen.

3. Herstellung des binocularen Sehens im aphakischen Zustande.

Myopen mittleren Grades haben bekanntlich mit der Convergenz sehr zu kämpfen. Bei vielen entwickelt sich, wie allgemein bekannt, frühzeitig Insufficienz der inneren Augenmuskeln; diese führt zu weiteren bösen Consequenzen, von denen ich hier anführe:

1. Aufopferung des binocularen Sehens.

2. Sinken der Sehkraft eines Auges infolge mangelhaften Gebrauches. Natürlich wird das sehtüchtige Auge meist gebraucht, während das schwächere langsam vernachlässigt wird. Man kann dies z. B. in einem Locale, wo viele Leute gleichzeitig lesen (Bibliothek, Zeitungslesesaal) oft beobachten, dass Myopen den Kopf auffallend schief halten und nur mit einem Auge lesen. Da ihnen nämlich die gleichzeitige

Thätigkeit beider Recti interni grosse Schwierigkeit bereitet, erleichtern sie sich das Lesen, indem sie das Buch seitwärts halten und nur das sehtüchtigere Auge benützen.

Langsam entwickelt sich aus der Insufficienz auf diese Weise ein Strabismus divergens; hiebei sinkt die Sehschärfe des abgelenkten Auges oft auf Null.

Bei höchstgradiger Myopie treten diese bösen Zustände in noch höherem Grade auf. Während das binoculare Sehen bei Myopien mittleren Grades erschwert ist, ist solches bei hochgradiger Myopie unmöglich; denn der Fernpunkt liegt in 5 *cm* und noch näher vor den Augen. Unter solchen Umständen ist es nicht möglich, dass mit beiden Augen gleichzeitig gesehen werde — das binoculare Sehen wird in jedem Falle geopfert.

Ungleich günstiger gestaltet sich die Convergenz nach der Extraction der Linse. Vor allem kann der Fernpunkt künstlich durch schwächere Gläser in jede beliebige Entfernung hinausgerückt werden. In vielen Fällen behalten die Operirten noch eine leichte Myopie zurück von etwa 2 bis 3 D.; diese Fälle betrachte ich als ideal; denn die Leute können mit grösster Leichtigkeit in 25 bis 30 *cm* lesen, während sie kaum nöthig haben, ein schwaches Concavglas für die Ferne zu tragen; im neuen Fernpunkt sehen sie genau, und da letzterer in ca. 30 *cm* sich befindet, haben sie eine leichte Myopie von $\frac{1000}{300}$, also etwa 3 D. zurückbehalten. Letztere ist im Verhältniss zu ihrer früheren Myopie so verschwindend klein, dass die geringen Zerstreuungskreise sie bei der Fernsicht gar nicht belästigen. Nebenbei haben höchstgradige Myopen eine ausserordentliche Uebung, ihre Zerstreuungskreise „zu verarbeiten". Solche Operirte sehen sowohl in die Ferne, als auch in die Nähe ohne Brille sehr gut. Dagegen ist es bei Taglöhnern oder Leuten, welche sich weniger mit Nahearbeiten befassen, wie Maurern, Gärtnern u. dgl. sehr vortheilhaft, wenn sie nach der Heilung Ein-

stellung für parallele Strahlen erhalten; wo dies nicht der Fall ist, kann man mit leichten Gläsern nachhelfen.

Viel günstiger verhält es sich damit nach der Extraction der Linse; vor allem kann der Fernpunkt je nach der Nothwendigkeit des Berufes durch entsprechende Gläser hinausgerückt werden; 25 bis 30 *cm* dürfte die beste Distanz sein. Da können die Operirten leicht wieder mit beiden Augen zusammen sehen.

Einer der Hauptvortheile des binocularen Sehens ist der Eindruck des räumlichen Sehens; dieses ist bei einseitiger Operation unmöglich, da der Tiefeneindruck neben anderen Umständen durch gleichzeitige Mitwirkung beider Interni bewerkstelligt wird.

Auf den hohen Wert der Herstellung des binocularen Sehens habe ich schon in meiner ersten Publication im v. Graefe'schen Archiv f. Ophth. hingewiesen. Dagegen sind andere Ophthalmologen gleichsam aufgetreten, indem sie angegeben haben, dass das operirte Auge für die Ferne, das zweite hingegen für die Nähe zu benützen wäre. v. Schröder hat sogar geschrieben, dass die Herstellung des binocularen Sehens kein Vortheil wäre.

Ich kann diese Ansicht nicht theilen. Denn erstens können ja beide Augen nach der Operation sowohl für die Ferne, als auch Nähe eingestellt werden. Es liegt kein Grund vor, weshalb das operirte Auge nicht in etwa 25 bis 30 *cm* zu Nahearbeiten benützt werden sollte; und gar erst dann, wenn noch eine Myopie von etwa 3 D. zurückgeblieben ist.

Dagegen kann ich nicht einsehen, weshalb das zweite Auge aus blosser Rücksicht für Nahearbeiten nicht operirt werden sollte? Welchen Vortheil soll ein solches Auge für Nahearbeiten bieten? Wenn z. B. der Fernpunkt bei Myopie von 20 D. in 5 *cm* liegt, da muss der Patient den Gegenstand bis an das Auge — also 5 *cm* herannähern, oder beim Lesen, Schreiben den Kopf bis an den Tisch legen; das

Lesen ist noch leichter möglich, da er das Buch dem Auge nähern kann; aber beim Schreiben treten schon grosse Schwierigkeiten und Schädlichkeiten ein — da ist es nicht anders möglich, als den Kopf tief an den Tisch zu beugen. Hiebei tritt eine Blutüberfüllung der Venen des Kopfes, in specie der Chorioidea ein, welche Anlass zu Hyperaemien, Entzündungen und Blutungen geben.

Auf die vorgeneigte Haltung des Kopfes und deren Schädlichkeiten hat Donders in seinen Werken grosses Gewicht gelegt — und gewiss mit Recht. Es liegt daher kein Grund vor, weshalb das binoculare Sehen aus dem genannten Grunde allein weiterhin geopfert werden sollte.

Auch andere Ophthalmologen haben sich in demselben Sinne ausgedrückt. Zunächst erhob auf dem Congresse in Heidelberg von Hippel seine Stimme für die Herstellung des binocularen Sehens. Schmidt-Rimpler trat gleichfalls auf den Congressen in Rom und Edinburgh zu Gunsten des binocularen Sehens ein, Sattler und Vossius schlossen sich denselben an. Genannte Herren erzielten in vielen Fällen ein vorzügliches binoculares Sehen. Weshalb sollen wir also dagegen kämpfen?

Ich habe in vielen Fällen mit Hilfe von stereoskopischen Bildern ein räumliches Sehen mit Sicherheit nachweisen können. Doch ist es nicht zu leugnen, dass es in manchen Fällen etwas schwierig ist, dies wirklich zu erlangen. Denn die Myopen haben das binoculare Sehen entweder längst verlernt oder ein solches nie gehabt.

Durch zweckmässige Uebungen gelingt es in den meisten Fällen, dies wieder leicht herzustellen. Von Seiten des Arztes ist viel Geduld und Zeit — von der des Operirten ein guter Wille und Fleiss erforderlich.

Das beste und sicherste Mittel, um binoculares und räumliches Sehen wieder erlangen zu können, sind stereoskopische Uebungen. Man bedient sich dazu eines be-

liebigen Stereoskopes und verschiedener Bilder. Die beliebten stereoskopischen Bilder von Dahlfeld leisteten mir bei Kindern und Erwachsenen vorzügliche Dienste; sie sind bei den Kleinen das beste Mittel, um binoculares Sehen nachweisen zu können. Schwieriger ist es jedoch, ein räumliches Sehen mit ihrer Hilfe zu erzielen; ich verstehe darunter dasjenige, wobei der Untersuchte den subjectiven Eindruck erhält, dass er verschiedene Gegenstände, welche in einem Saal, Kirche etc. nebeneinander stehen, so sieht, als ob man in den betreffenden Saal, Kirche etc. hineinschauen möchte.

Zum letzteren Zwecke eigen sich besonders photographische Bilder.

Es ist hiebei nöthig, dass der Operirte sich selbst bemühe, den räumlichen Eindruck zu erhalten; doch gehört hiezu unbedingt ein gewisser Grad von Intelligenz. Die Uebungen sollen methodisch, anfangs täglich eine kurze Zeit, später längere Zeit lang fortgesetzt werden. Sobald Ermüdung eingetreten ist, solle man nicht forciren, sondern die Fortsetzung lieber auf den nächsten Tag verlegen. Wenn die Sehkraft beider Augen gleich ist und kein Schielen nach aussen besteht, dann kann ein binoculares und räumliches Sehen rasch erlangt werden. Etwaiger Strabismus divergens müsste vorerst durch Tenotomie oder Vorlagerung behoben werden.

Manchmal beobachtete ich, dass binoculares Sehen für die Nähe zwar rasch erzielt worden ist; dagegen hatten die Operirten mit gewissen Schwierigkeiten zu kämpfen, um binoculares Sehen für die Ferne zu erlangen. In solchen Fällen erreichte ich dies dadurch, dass ich den Operirten vor jedes Auge verschiedenfarbige Gläser vorgesetzt habe, also rechts roth, links blau oder grün. Durch einen Act psychischer Thätigkeit gelingt es den Operirten, die verschiedenen Farben in eine einzige Mischfarbe zusammenzuschmelzen; anfangs sehen sie jedoch beide Farben gesondert.

4. Bedeutende Herabsetzung der Refraction des Auges.

Als nächsten bedeutenden Vortheil des aphakischen Zustandes bei hohen Myopen sehe ich an die ausserordentliche Herabsetzung des optischen Wertes des Auges. Wir wissen aus praktischer Erfahrung, dass das emmetropische Auge nach einer Staroperation eine Hyperopie von 10 bis 11 Dioptrien erhalte. Ich habe daher erwartet, dass auch bei meinen ersten Operirten nach Aufsaugung der Linsenmassen eine Herabsetzung des optischen Wertes um 10 D. erfolgen werde.

Doch war ich nicht wenig erstaunt, als ich statt dessen eine Herabminderung von 15, 16 D. und noch mehr erlangt habe. Diese Beobachtung war constant bei allen Operirten und ist die optische Differenz in keinem Falle auf 9—10 D. gesunken. Auch alle anderen Herren Operateure, welche gleichfalls hohe Myopiefälle operirt hatten, haben gleiche, selbst noch günstigere Resultate erhalten.

Wenn man die Tabelle der von Prof. von Hippel operirten Myopen ansieht, findet man darin die Refractionsdifferenz 18, 19, 20, 22, selbst 24 Dioptrien. Die höchsten Herabsetzungen findet man thatsächlich bei den allerhöchsten Myopiegraden; so finden wir in der Publication des Prof. Vossius, dass er einen Studenten operirte, welcher bei knapp am Auge vorgehaltenem Glase zur Correction für die Ferne — 30 D. gebraucht hat. Nach der Linsenextraction zeigte sich zur grössten Ueberraschung und Freude des Patienten, dass dieser junge Mann fast emmetropische Einstellung des Auges bekommen hat, und zum deutlichen Sehen in die Ferne noch ein Glas — 1·5 D. brauchte. Nach der Untersuchungsmethode von Vossius (Schweigger) wäre dies eine optische Differenz von 28·5 D.; dagegen ist es nach der gewöhnlichen Methode, wie wir zu untersuchen pflegen, eigentlich eine Refractionsdifferenz von 44 Dioptrien.

Ich will hiemit sagen, dass dieser Mann, wenn er eine

corrigirende Fernbrille in 12 *mm* Distanz tragen würde, er dazu ein Glas von 45 D. brauchen müsste; denn der Brennpunkt f des Glases — 30 D $= -\frac{1000}{30} = -$ 33·33 *mm*, daher ist bei $d = 3$ *mm* der Fernpunkt des Auges $r = 3 + 33{\cdot}3 =$ 36·3 *mm*; bei $d = 12$ ist $f = d - r = 12 - 36{\cdot}3 = -24{\cdot}3$, d. h. die corrigirende Fernbrille müsste 45 Dioptrien haben.

Wir betrachten die ausserordentliche Herabsetzung des optischen Wertes als einen enormen Gewinn für die Operirten, da bei allerhöchsten Myopiegraden die Refraction des operirten Auges der Emmetropie genähert ist. Denken wir uns nämlich Augen, welche mit einer Myopie von 20, 25 und 30 Diop. behaftet sind; wenn durch die Linsenextraction ihr optischer Wert nur um 10 D. herabgesetzt werden möchte, dann würden die drei Augen im aphakischen Zustande noch eine Myopie von 10, 15 und 20 D. zurückbehalten. Der von Vossius operirte Patient würde dann nicht ein schwacher Myope von 1·5 D. werden, sondern Myopie 20 D. noch weiter behalten. Das ist für ihn freilich ein enormer Gewinn; mit einer zurückgebliebenen Myopie von 20 D. wäre ihm also jedenfalls nicht viel geholfen worden sein. Wir sehen aus der grossen Reihe der von v. Hippel operirten Fälle, dass Myopen mit —20 D. und darüber, Emmetropen geworden sind.

Der junge, von Vossius operirte Mann hat den allerhöchsten denkbaren Gewinn von der Operation davongetragen, den man sich vorstellen kann; man kann dies mit Recht behaupten, wenn ein Mann mit 30 D. Myopie nachher noch die geradezu ideale Myopie von $1^1/_2$ D. zurückbehalten hat; denn jetzt sieht er in etwa 40 *cm* genau und braucht für parallele Strahlen fast kein Glas! Er sieht also in die Ferne und Nähe recht gut ohne Augengläser.

4a. Ueber den optischen Wert der Linse bei höchstgradiger Myopie.

Nach diesen Auseinandersetzungen liegt der Gedanke nahe, dass bei höchstgradiger Myopie oft neben der Axen-

verlängerung, auch eine mehr gewölbte, kugelförmige Form der Linse zur Erhöhung der Brechkraft des Auges wesentlich beiträgt.

Wir würden dann eine Axen- und eine Linsenmyopie haben; erstere ist bedingt durch abnorme Länge des Auges, letztere durch stärkere Wölbung der Linse.

Ich habe darauf schon in meiner ersten Publication (Heilung höchstgradiger Kurzsichtigkeit durch Beseitigung der Linse, 1891, S. 27; Beitrag zur Ursache der höchstgradigen Myopie; Knapp-Schweigger's Archiv f. Augenheilk., Bd. 24, p. 161.) hingewiesen. Doch gibt es wohl weder eine ganz reine Axenmyopie, noch reine Linsenmyopie; es scheint, dass eine Combination beider Formen am häufigsten vorkomme, während bald die Axenlänge, bald stärkere Linsenwölbung vorwiegt. Leider haben wir keine sichere Methode, um bestimmen zu können, ob die eine oder andere Art von Myopie vorliegt.

Dieselbe Ansicht haben schon ältere Autoren in ihren Werken vertreten; ich habe dies eingangs, gelegentlich der Besprechung der Geschichte der Myopie, angeführt; so Morgagni, Boerhave, Richter, Beer u. a. Vielseitige Beobachtungen verschiedener Operateure bestätigten meine Ansicht. Zunächst hat Mauthner (33) in seinem Werke über die optischen Fehler des Auges (S. 430) darüber geschrieben und durch Berechnung nachgewiesen, dass die Axenverlängerung nicht die einzige Quelle der Ursachen der Myopie sein könne; denn es müsste nach Mauthner's Berechnungen bei den allerhöchsten Myopiegraden die Augenaxe die undenkbare Länge von 63·103 *mm* betragen. Dass es kein menschliches Auge gibt, welches länger als 6 *cm* ist, unterliegt wohl keinem Zweifel.

Es ist ferner unstreitig, dass ein kürzerer Hornhautradius Myopie erzeuge. Auch dies haben wir schon bei älteren Autoren gelesen. Doch gehören zum sicheren Nachweise Messungen mit dem Ophthalmometer; bei der Seltenheit höherer Grade von Hornhautmyopien fehlen auch ophthalmo-

metrische Messungen — daher auch der sichere Nachweis. Es ist im Interesse der Myopie-Operationen sehr erwünscht, dass künftighin genaue Angaben der Länge des Hornhautradius eines jeden Falles vorliegen möchten. Ich werde von nun an jedes zu operirende Auge vorerst mit dem Ophthalmometer untersuchen.

Dagegen ist es unzweifelhaft, dass übermässige Wölbung der Linse eine Ursache der Kurzsichtigkeit ist. Zunächst ist dies durch den aphakischen Zustand erwiesen worden. Alle Autoren, wie Schweigger, von Hippel, Vossius etc., die sich mit der Operation hochgradiger Kurzsichtigkeit befassen, kommen schliesslich zur Ueberzeugung, dass bei höchsten Graden von Myopie die Linse mehr kugelig sei, daher stärkeren, höheren Brechungswert als die normale besitze.

Es hat zwar W. Schön (34) sich gegen meine im Archiv f. Augenheilk. Band 24, publicirte Ansicht ausgedrückt. Seine Publication konnte mich jedoch nicht zu einer andern Ansicht bekehren; im Gegentheil mehren sich die Gründe zu Gunsten meiner Ansicht. Was nützen theoretische Zusammenstellungen, wenn praktische Erfahrungen zuverlässiger Forscher andere Resultate ergeben! Einen schlagenden Beweis dafür bilden zwei von Vossius angeführte Fälle (Beiträge zur Aughk. 18. H. S. 63—65). Der erste Fall betraf einen 20jährigen Studiosus jur., mit Myopie 30 D., wobei das Glas möglichst nahe am Auge gehalten wurde; hiemit ist es nach gewöhnlicher Bestimmung Myopie 45 D.

Nach erfolgter Heilung ist ganz gegen unser Erwarten leichteste Myopie von 1·5 D. zurückgeblieben; es hat somit eine Refractionsdifferenz von 28·5 D., bezw. 44 D. (!) stattgefunden. Von einer nicht genügenden Untersuchung, welche nach Schweigger's Ansicht oft Ursache ist, dass ein zu hoher Myopiegrad angegeben wird, kann bei den Fällen von Vossius nicht die Rede sein, da Vossius neben der gewöhnlichen Gläserbestimmung den Myopiegrad durch Skiaskopie bestimmt und controlirt hat; hiebei hat sich eine genaue Uebereín-

stimmung beider Untersuchungsresultate ergeben. Vossius hatte allen Grund, in diesem Falle den ausserordentlichen Refractionsunterschied in einer geänderten Form der Linse zu suchen.

Bei der Operation fand Vossius nämlich, dass die Linse eine nahezu kugelige Gestalt hatte, wie dies bei Neugebornen vorkommt. Es wäre möglich, dass ein lang andauernder Accommodationskrampf diese übermässige Brechkraft der Linse hervorgerufen hat. Doch glaube ich vielmehr, dass letztere nicht vom Accomodationskrampf, sondern von einer abnormen, angebornen Dicke der Linse, mit entsprechend kurzer Brennweite, abhängt; denn in keinem andern Falle kann ein solcher ausserordentlich hoher Myopiegrad durch Accomodationskrampf hervorgerufen werden.

Ein Gegenstück zum geschilderten Fall bildet der nachfolgende, von Vossius an gleicher Stelle beschrieben. Ein 38jähriger Mann kam 1893 zur Augenklinik in Giessen. Er hatte früher an einem Auge Myopie geringen Grades, während das andere infolge einer früheren Verletzung zu Grunde gegangen war. Da bemerkte er vor einem Jahr nach einem schweren Fall, dass, wenn er nach vorne sich beugte, er in die Ferne fast nichts ausnehmen und nur in allernächster Nähe gut sehen könne. Wenn er sich dagegen auf den Rücken gelegt hat, ist das undeutliche Sehen in der Ferne vergangen.

Es handelte sich also um eine traumatische Linsenluxation, wobei je nach der Kopfhaltung die Linse in der vorderen oder hinteren Augenkammer sich befunden hat. Die durch Atropin erweiterte Pupille begünstigte diese Erscheinung. Bei sonst ganz durchsichtiger Hornhaut bestand Myopie 4 D; wenn die Linse in der hinteren Kammer war, S = 20/50. War die Linse dagegen in der vorderen Kammer, dann fand Vossius Myopie 15 D., S = 20/70; sie lag der Cornea dicht an, als eine etwa 7 *mm* Durchmesser haltende, klare blasige Masse von normaler Durchsichtigkeit.

Vossius hat hierauf die bewegliche Linse durch einen Bogenschnitt entfernt; da hat sich wieder die seltene Erscheinung gezeigt, dass der Operirte nach glatter Heilung für die Ferne noch ein Convexglas 13 D. gebraucht hat!! Schon nach einem Monate ist das Sehvermögen von 20/70 auf 20/40 gestiegen.

Dies sind unwiderlegbare Beweise, dass ein übermässig kugeliger Bau der Linse zur Ursache der Myopie wesentlich beitrage. Aehnliche Fälle kommen häufig genug vor, wiewohl selten eine Gelegenheit zu ihrer Publication vorkommt.

5. Stillstand der Progression der Myopie im aphakischen Zustande.

Nach dem, was wir über den Einfluss der Accommodation auf die Zunahme des intraocularen Druckes gesehen haben, lässt sich schon a priori schliessen, dass nach der Entfernung der Linse eines hochgradig kurzsichtigen Auges die Ausdehnung der Sclera, daher Progression der Myopie sistirt werde.

Selbstverständlich gehört dazu eine Beobachtung von einigen Jahren operirter Myopen; ich bin in der Lage, einige Operirte mehrere Jahre lang beobachten zu können. Es ist dies eine sehr schwierige Sache, da sich hiezu selten Gelegenheit bietet; denn Beruf und Zufall treiben Viele in die weite Welt hinaus; einige meiner Operirten sind nach Amerika übersiedelt, sind daher nicht zu controliren.

Wie ich theoretisch erwartet habe, ist im Fortschreiten entweder ein gänzlicher, oder ein theilweiser Stillstand eingetreten. Am besten konnte ich es an solchen Myopen constatiren, welche nur an einem Auge operirt worden sind; durch Vergleich beider Augen lässt sich dies am besten constatiren.

Ich habe daher zweierlei Erscheinungen constatiren können: bei einigen ist ein theilweiser, bei anderen ein gänzlicher Stillstand der Myopie eingetreten.

Das Eintreten des ersten oder zweiten Falles hängt davon ab:

1. ob die Ausdehnung der Augenhäute am hinteren Pol weiter nicht fortschreitet;

2. vom Sistiren des übermässigen Gebrauches der Accommodation.

Was den ersten Punkt anbelangt, stehen wir ihm ziemlich machtlos gegenüber. Wir können allerdings auf ihn indirect einwirken, indem wir die Myopen auf die schädlichen Einflüsse, wie vieles Lesen und Schreiben bei schlechter Beleuchtung, harten Stuhl, wodurch der Blutandrang zur Aderhaut begünstigt wird, — die vorgeneigte Kopfhaltung etc. aufmerksam machen. Durch Beachtung dieser Maassregeln kann dem Fortschreiten ein geringer Damm gesetzt werden. Leider haben wir keine Mittel, welche auf die Dehnung der Sclerotica und Chorioidea direct einwirken können; denn letztere beruht auf einer nicht gekannten angebornen Anlage und schreitet unaufhaltsam fort.

Wenn die Macht der Therapie uns bei dem ersten Fall im Stich lässt, so werden wir dafür im zweiten reichlich entschädigt; denn durch die Entfernung der Linse hört der schädliche Einfluss der Accommodation, von welchem vorne die Rede war, ganz auf; dass die Zunahme des intraocularen Druckes, während eines jeden Accommodationsactes, welche von Coccius, Graefe, Hensen und Völkers nachgewiesen worden ist, eo ipso aufhört, brauche ich davon weiter nichts mehr zu erwähnen.

In der Sistirung des Fortschreitens höchstgradiger Myopie liegt einer der bedeutungsvollsten Gewinne der operativen Behandlung; mit mir stimmen auch Vossius, Sattler, v. Hippel u. A. überein.

Wenn also in einem speciellen Fall das Fortschreiten der Myopie infolge der angebornen krankhaften Disposition erfolgt, dann ist es möglich, dass trotz der Aphakie eine leichte Zunahme der Myopie erfolgen wird. Dies findet meist bei an

und für sich **kranken,** zur Netzhautablösung geneigten, meist mit ausgebreiteter Chorioiditis und herabgesetzter Sehkraft behafteten Augen statt. Letzteres ist auch der Grund gewesen, weshalb ich solche Augen zum operativen Verfahren nicht empfehlen wollte. Wenn jedoch ihr Fortschreiten durch Ueberbürdung der Accomodation veranlasst worden ist, dann ist auch ein Stillstand zu erwarten.

Als ich am Heidelberger Congress 1893 über dieses specielle Thema gesprochen habe, wurde mir dagegen eingewendet, das hochgradige Myopen nicht nöthig hätten zu accommodiren, da ihr Fernpunkt ohnehin sehr nahe vor dem Auge liege; es sei daher nicht einzusehen, wieso sie ihre Accommodation übermässig in Anspruch nehmen sollten? Im ersten Momente erscheint dieser Einwand ganz richtig; und dennoch ist er irrig; denn junge Myopen, z. B. Schüler, haben eine sehr bedeutende Accommodationsbreite; letztere ist ebenso gross, wie die eines jeden Emmetropen gleichen Alters; sie accommodiren daher mit grösster Leichtigkeit fast bis zur äussersten Grenze, ohne sich dessen bewusst zu sein. Indem beispielsweise ein 14jähriger Knabe, welcher M. 10 oder 15 D. hat, das Buch nur um 1 oder 2 *cm* näher an das Auge hält, accommodirt er dabei schon in sehr hohem Grade; während die Annäherung des Buches bei einem Emmetropen um 2 *cm* noch nichts ausmacht, sind 2 *cm* Annäherung bei hohen Myopen sehr grosse Werte. Dies ist der Grund, weshalb junge Myopen höchsten Grades ein gefährliches, schädliches Accommodationsspiel unbewusst treiben.

v. Hippel konnte bei keinem seiner Operirten im Verlaufe von zwei Jahren eine Zunahme der Myopie constatiren. Auch Sattler, welcher seit zwei Jahren eine bedeutende Anzahl zu beobachten Gelegenheit hatte, stimmt mit mir darin überein, dass, wenn mit der Verbesserung des Sehvermögens die Distanz der Arbeit weiter weg vom Auge hinausgerückt wird, dann dem weiteren

Fortschreiten ein kräftiger Damm entgegengesetzt wird. Zu dieser Prognose ist jedoch ein relativ gutes Sehvermögen nöthig, während man bei notorisch kranken Augen einen Stillstand nicht zu erwarten hat.

6. Die gerade Kopfhaltung bei operirten Myopen im aphakischen Zustande.

Ich habe gelegentlich über die starke Kopfneigung hoher Myopen und ihren schädlichen Einfluss auf die Gefässe der Aderhaut geschrieben; hier führe ich nur an, dass auch die gerade Kopfhaltung nach der Linsenentfernung ein bedeutender Vortheil ist, da durch sie der schädliche Einfluss der Chorioidealhyperaemie aufhört.

XVIII. Der Wert der Myopie-Operationen.

Aerzte, welche eine grössere Anzahl von Myopen operirt haben, sind im Stande, sich ein richtiges Urtheil über den eigentlichen Wert der Operation zu schaffen. Vor allem wird eine grosse Reihe von erwerbsunfähigen, sonst aber vollkommen gesunden Leuten, welche infolge ihres höchsten Grades von Kurzsichtigkeit zu keinem Gewerbe tauglich waren, wieder fähig, ihren Beruf ausüben zu können. Ich habe bereits früher darauf hingewiesen, dass namentlich arme Leute durch höchstgradige Myopie sich in der peinlichsten Situation befinden und ihnen durch die Operation eine bessere Existenz geschaffen werden kann. Ich erinnere nochmals hier an den von Prof. v. Hippel operirten Handwerker, welchen niemand mehr wegen seiner Kurzsichtigkeit in Arbeit nehmen wollte, und welcher nach der Operation wieder sein Handwerk hat aufnehmen können; Tausende von Unglücklichen erlangen durch die Beseitigung der Linsen wieder ihre Erwerbsfähigkeit.

Sehr zutreffend hat Prof. Vossius sich über den Wert der Myopieoperationen ausgedrückt. In seiner Arbeit in den Beiträgen zur Augenheilkunde 1895, 18. Heft, S. 690 schrieb er Nachstehendes: „Resumire ich nach dieser Abschweifung

über die Staroperationen in Kürze meine bisherigen Erfahrungen über die Erfolge der operativen Behandlung der Myopie, so kann ich die bisherigen Angaben der verschiedenen Operateure durch meine Beobachtungen im vollen Umfange bestätigen.

Der Wert der operativen Behandlung der hochgradigen Kurzsichtigkeit ist nach meinem Dafürhalten auf die gleiche Stufe mit dem Nutzen der Iridectonie bei Glaucom zu stellen. Der Vortheil, welcher der leidenden Menschheit durch beide Operationen geschaffen wird, ist annähernd gleich; im ganzen leiden aber mehr Menschen an hochgradiger Myopie als an Glaucom. Zudem ist das Glaucom eine Krankheit des höheren Alters, während die excessive Myopie ihren schädlichen Einfluss schon in der Jugend entfaltet. Durch die Beseitigung der Linse wird das Sehvermögen der hochgradig Kurzsichtigen und **ihre Existenz wesentlich gebessert**; ausserdem scheint nach den Erfahrungen der anderen Operateure die Progression der Myopie mit allen dadurch bedingten Gefahren für die Augen auf diese Weise dauernd beseitigt zu sein. Die Operation ist, wenn sie unter streng aseptischen Cautelen ausgeführt wird, absolut gefahrlos. Auch kosmetisch erwachsen den Leuten keine Nachtheile, da die Iridectomie ganz entbehrlich ein Irisprolaps nur selten zu beobachten und in der Regel reponirbar ist."

Mit diesem Urtheil hat Vossius den Myopieoperationen den höchsten Wert zuerkannt; denn bekanntlich gehört von Graefe's Entdeckung der Glaucom-Iridectomie zu den grössten Errungenschaften nicht nur der Augenheilkunde, sondern der Arzneiwissenschaft überhaupt.

Sehr günstig drückt sich auch v. Hippel über den Wert

der Myopieoperation aus: »Der Verlust der Accommodation, welchen Donders als schwerwiegenden Grund gegen die operative Behandlung der Myopie seinerzeit betont hat, tritt gegenüber den ausserordentlichen Vortheilen, welche das Verfahren den Patienten bietet, völlig in den Hintergrund; ich stehe daher nicht an, dasselbe als einen der erfreulichsten Fortschritte zu bezeichnen, welche die operative Ophthalmologie in den letzten Jahren aufzuweisen hat. Dem an Katarakt Erblindeten geben wir durch unsere Kunst ein Gut wieder, dessen er nur vorübergehend beraubt war; dem höchstgradig Kurzsichtigen erschliessen wir eine neue Welt und verhelfen ihm damit zu Lebensgenüssen, von denen er bis dahin keine Ahnung hatte.« (Ber. d. ophth. Ges. 1895, S. 25.)

XIX. Ueber Myopiefälle allerhöchsten Grades und ihr Verhältniss zur Axenlänge.

Darunter verstehen wir Fälle von 30—40 Dioptrien und darüber. Hiebei kommt es meist darauf an, in welcher Entfernung das corrigirende Fernglas vom Hornhautscheitel bei der Untersuchung gehalten wird; ein geringer Unterschied erhöht das für die Ferne erforderliche Glas in **ausserordentlicher Weise**.

Fälle von Myopie von 30—40 D. sind äusserst selten; sie sind in der Literatur vielleicht nocht nicht veröffentlicht worden, wiewohl sie in mancher Beziehung, namentlich hinsichtlich ihrer Axenlänge, ein besonderes Interesse verdienen.

Man sollte nämlich meinen, dass die Axenlänge mit dem Myopiegrade im geraden Verhältnisse stehe. Dies kommt allerdings bei den meisten Fällen vor — ist aber keine Regel. Denn es gibt sogar Fälle, welche eine kürzere Axe haben, als die des chematischen, emmetropischen Auges, also die Axe der Hypermetropen; ich werde mir erlauben, ein Beispiel hiefür anzuführen.

Die Ursache dieser Myopiegrade kann verschieden sein: entweder ist die Axe zu lang, oder es ist die Linse zu

stark gewölbt, oder ihre Entfernung von der Netzhaut zu gross. Schliesslich kann auch ein kürzerer Hornhautradius übermässige Myopie zur Folge haben. Ueber letztere Form kann ich weder aus eigener, noch aus Anderer Erfahrung Bestimmtes hier anführen. Vielleicht wird es uns mit Hilfe der Ophthalmometrie gelingen, bestimmen zu können, mit welcher Art von Myopie wir zu thun haben.

Dagegen sind Fälle von Linsenmyopie durch Extraction der Linse zweifellos nachgewiesen worden; letztere zerfallen in zwei Arten: bei der einen ist neben der Linsenmyopie auch eine bedeutende Axenverlängerung vorhanden, bei der anderen hingegen ist die Axe normal, oder sie kann sogar kürzer sein.

Demgemäss möchte ich nachstehende 3 nachgewiesene Arten von Myopie unterscheiden:

1. Die reine Axenmyopie, bei welcher eine abnorme Länge der Axe die Ursache der Anomalie ist; die Linse nimmt entweder keinen Antheil, oder bloss durch ihre Lage einen untergeordneten, indem sie der Hornhaut näher liegt.

2. Bei einer andern Reihe ist Axen- und Linsenmyopie gleichzeitig vorhanden, d. h. die Axe ist länger, es ist aber gleichzeitig der optische Wert der Linse grösser, als er es gewöhnlich ist.

3. Es besteht eine reine Linsenmyopie, während die Axe die normale Länge hat — ja sogar kürzer sein kann.

Für jede dieser drei Arten bin ich in der Lage, Beispiele hier anzuführen.

1. Allerhöchste Myopie, reine Axenmyopie.

Herr Geheimrath Prof. Schweigger hatte die Güte, mir zwei Fälle solcher Myopie mitzutheilen.

Eine 31jährige Frau kam an die Berliner Klinik, um Hilfe wegen ihrer hochgradigen Kurzsichtigkeit zu suchen.

Bei der Untersuchung wurde gefunden:

a) Rechts Myopie 31 D., V. $\frac{5}{25}$, Fernpunkt in 38 *mm* vor der Irisebene,

b) Links Myopie 32 D., V. $\frac{5}{35}$, Fernpunkt in 30 *mm* (gemessen mit Schweigger's elektrischer Glühschlinge).

Es wurde an beiden Augen Discision und Extraction ausgeführt; Ende März 1894 fand Herr Geh. Schweigger:

Rechts ist zurückgeblieben M. 12 D., V. $\frac{5}{25-35}$.

Links M. 13—14 D. V. $\frac{5}{35}$.

Es ist also trotz bedeutender optischer Verminderung der Brechkraft des Auges noch eine bedeutende Myopie zurückgeblieben, was auf eine abnorme Axenlänge schliessen lässt.

Die Berechnung der Axenlänge ergibt rechts 39·06 *mm*, links 39·939. Wenn man jedoch die Axenlänge aus dem Brechzustande des Auges im aphakischen Zustande berechnet, ergibt sich beiderseits eine grössere Axenlänge: rechts 42·901, links 44·335; hiebei wurde bei der Berechnung der Abstand des Correctionsglases für die Ferne circa 3 *mm* vom ersten Hauptpunkte angenommen, da Schweigger bei seinen Untersuchungen hochgradiger Myopie immer das Glas fast vor dem Hornhautscheitel hält, um dadurch den möglichst richtigen Grad zu bekommen. Die nicht geringe Differenz von mehreren *mm*, die sich aus der Berechnung des Vollauges, und aphakischen, ergibt, dürfte in unrichtigen Angaben der Operirten ihren Grund haben; bei sehr starken Gläsern haben die Myopen nicht mehr die richtige Empfindung, ob sie mit dem stärkeren oder nächst schwächeren Glas besser sehen. Wie bedeutend übrigens die Myopie dieser zwei Augen ist, ersieht man daraus, dass die Augen zur Correction für die Ferne, in der Distanz von 12 *mm* vom Hornhautscheitel, Concavgläser 46 bezw. 45 benöthigen würden.

c) Die Kenntniss dieses und des nächsten Falles, über welche Herr Dr. Otto demnächst separat berichten wird, ver-

danke ich der gütigen Mittheilung des Herrn Geheimrathes Prof. Sattler.

Ein Mann hatte Myopie 35 D., bei 15 *mm* Abstand des Glases vom Knotenpunkte. Nach der Heilung brauchte der Operirte zur Correction für die Ferne — 6 D. — auf den Knotenpunkt bezogen. Der Fernpunkt des Auges lag in 38 *mm* vor dem 1. Hauptpunkt; das corrigirende Glas war also 15—5·215 = 9·785 *mm* vom 1. Hauptpunkt, bezw. 8·032 vom Hornhautscheitel entfernt. Daher entsprach dies einer Myopie von 28·5 D., wenn man letzteres corrigirende Glas nach Schweigger in 3 *mm* Entfernung vom 1. Hauptpunkt halten würde.

Diese Werte entsprechen einer Axenlänge von 36·862 *mm*. Der Fall ist gleichfalls eine reine Axenmyopie, da die Berechnung der Länge der Axe desselben aphakischen Auges nur um ein halbes Millimeter differirt, — ein Fehler, der in mangelhafter Nummerirung des Brillenkastens zu suchen ist.

d) Der zweite Fall der Sattler'schen Klinik betraf einen Myopen von 30 D.; der Abstand des Correctionsglases war 15 *mm* vom Knotenpunkt, daher wieder 8·032 vom Hornhautscheitel; der Fernpunkt lag in 43·12 *mm* vom 1. Hauptpunkt. Bei einem Abstande 3 *mm* von H. ist dies eine Myopie von 25 D. Die Berechnung der Augenaxe des Vollauges ergibt 34·441 *mm*, und 33·778 des aphakischen; hiemit ist Verlängerung der Axe die einzige Ursache.

2. Allerhöchste Axen- und Linsenmyopie.

Ein Beispiel hiefür ist der mehrmals erwähnte 21jährige Stud. juris, von Vossius (Beiträge zur Augenheilkunde, 18. Heft, S. 60). Vossius untersucht hochgradige Myopen in derselben Weise, wie Schweigger. Es war Myopie 30 D. Dieser entspricht, wenn man mit denselben Werten, wie bei den vorhergehenden rechnet, eine Axenlänge von 38.251 *mm*. Nach der Linsenextraction trat eine Herabsetzung des optischen Wertes dieses Auges um 28·5 D. ein, indem die geringe

Myopie 1·5 D. zurückgeblieben ist; nun zeigt die Erfahrung, dass bei einer Myopie von 20 D. (auf den 1. Hauptpunkt bezogen) im aphakischen Zustand Myopie 1·5 D. zurückbleibt (Krüger Gustav, von Schweigger operirt). Es entfallen also in diesem Falle 20 D. Myopie auf die Axenverlängerung, und Myopie von 10 D. auf erhöhten optischen Wert der Linse.

Solche Fälle ergeben die günstigsten Resultate, indem die Brechkraft des Auges ausserordentlich herabgesetzt wird und die Operirten nur eine geringe Myopie zurückbehalten, welche ihnen bei Nahearbeiten vom grössten Vortheil ist.

3. Reine Linsenmyopie hohen Grades, mit Axenverkürzung.

In diesem Falle handelt es sich nur um eine Myopie mässigen Grades, welche jedoch aus dem Grunde unsere Aufmerksamkeit auf sich lenkt, da in einem Auge mit kürzerer, hypermetropischen Axenlänge, Myopie constatirt worden ist. Die Veröffentlichung dieses Falles verdanken wir Vossius (Deutschmann's Beiträge z. A. l. c.); der Fall ist bereits einmal von mir erwähnt worden. Ein 38jähriger Mann behielt nach einer Verletzung eine Linsenluxation; die Linse musste extrahirt werden; vor der Extraction hatte er Myopie 4 D., nach derselben brauchte er noch ein Convexglas 13 D. für die Ferne — also um 3 D. mehr, als ein emmetropisches Auge nach einer Staaroperation; es bestand hiemit eine Linsenmyopie von 7 D.

Donders, welcher mehrere Tausende von Myopen untersucht hat, schreibt in seinem Werke über die Anomalien der Refr. S. 285, dass Myopie in allen Graden bis $\frac{1}{1^1/_2}$, $\frac{1}{1{\cdot}3''}$ und wahrscheinlich noch höher vorkomme. Beschrieben hat er hingegen keinen solchen Fall.

Prüfen wir die Axen dieser Myopiegrade. Zunächst müsste festgesetzt werden, wie Donders den Myopiegrad bei diesen Fällen versteht? Denn er schreibt, er (Donders) rechne die Entfernung des Fernpunktes vom Knoten-

punkte aus (S. 284). Nun fallen die Axenlängen bei Berechnungen allerhöchster Grade vom Knotenpunkte aus viel grösser, als die Berechnungen nach Nagel, vom ersten Hauptpunkt; denn der erste Knotenpunkt liegt nach Helmholtz's neuesten Berechnungen 6·968 *mm* vor dem Hornhautscheitel — der erste Hauptpunkt dagegen nur 1·753 *mm*; und dieser Unterschied fällt so ausserordentlich schwer in die Wagschale, dass man das Vorkommen von Myopien allerhöchsten Grades in dem Sinne, wie Donders es gemeint hat, sehr bezweifeln möchte. Donders schreibt, dass wahrscheinlich höhere Grade als M. $\frac{1}{1{\cdot}3''}$ vorkommen. Eine solche wäre M. $\frac{1}{1''}$; wie lang müsste da die Augenaxe sein? Vom Knotenpunkt und mit den neuesten Werten Helmholtz's gerechnet, müsste dies (bei Mauthner, S. 429 finden wir Donders's red. Werte) eine Axenlänge von **73·133** ergeben; man kann also von einem solchen Myopiegrade im Donders's Sinne nicht sprechen; ein Augapfel, der über 7 *cm* lang wäre, existirt gewiss nicht. — Anders ist es jedoch, wenn man den Fernpunkt von dem ersten Hauptpunkt zählt; ein solcher Augapfel würde 50·49 *mm* lang sein. Es ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass eine solche Myopie vorkommt, wenn gleichzeitig die Linse einen grösseren optischen Wert besitzt. — Doch rechnet man nach Schweigger und Vossius gewöhnlich eine Myopie $\frac{1}{1''}$ derart, dass das Concavglas etwa 1 *mm* vor der Hornhaut von der Hornhaut vorgehalten wird; dann würde das Glas vom 1. Hauptpunkt etwa 3 *mm* entfernt sein, und es würde die Axenlänge 44·803 *mm* betragen; solche Axenlängen kommen ganz gewiss vor — wenn auch selten.

Der nächste, von Donders angeführte Fall ist M. $\frac{1}{1{\cdot}3''}$; vom Knotenpunkte aus gezählt, müsste hier die Axe 44·93 *mm* lang sein. Wenn man hingegen nach Nagel von H, rechnet, dann würde die Axenlänge 39·089 *mm* betragen.

Solche Axenlängen sind anatomisch einigemale nachgewiesen worden (Iwanoff).

Wenn man bei demselben Fall den Myopiegrad derart abschätzt, dass man das Glas in 1 *mm* Entfernung vor dem Hornhautscheitel vorhält, dann ergibt sich für dieses Auge eine Axenlänge von nur 36·94 *mm*; daher ist dieser Myopiegrad ein geringerer gewesen, wie die von Schweigger beschriebenen Fälle.

Man sieht daraus, dass auch eine M. von $\frac{1}{1''}$, wie Donders schreibt, vorkommt, nur muss man nach der Schweigger'schen Methode den Myopiegrad bestimmen — ja nicht aber vom Knotenpunkt aus.

XX. Vorkommen der Netzhaut-Ablösung bei Myopie.

Es ist bekannt, dass Netzhautablösung fast nur bei Myopen vorkommt. Ich habe sie schon bei den schwächsten Myopiegraden gesehen, einmal bei einem 30jährigen Priester mit M. 2 D. Man kann sich daher vorstellen, dass das Leiden die höchsten Myopiegrade nicht verschont, sogar sie im potenzirten Grade ergreift.

Um zu constatiren, wie oft bei Myopie Netzhautablösung vorkomme, müssen wir uns an eine grössere statistische Aufzeichnung halten.

Mooren berichtet in seiner Arbeit „Die operative Behandlung der natürlich und künstlich gereiften Starformen, 1894“ über 5631 Myopiefälle mit allen denkbaren Graden von Sklerotico-chorioiditis posterior (S. 23). Die Stelle lautet:

„Ausdrücklich als eine Folgeerscheinung der materiellen Veränderungen des inneren Auges, ist einseitige Netzhautablösung 1273mal = 22·8%, doppelseitige 11mal angegeben“.

Hiemit hätte Mooren unter seinen sämmtlichen, mit Sklerotico-chorioiditis behafteten Myopiefällen in 22·8% Netz-

hautablösung in verschiedenen Graden beobachtet. Man sieht daraus, dass ein inniger, noch nicht genügend erklärter Zusammenhang zwischen Myopie und Amotio retinae besteht, und genanntem Leiden viele Augen zum Opfer fallen.

Glücklicher Weise kommt Amotio nach Myopieoperationen selten vor, wie dies zahlreiche an Kliniken operirte Fälle bewiesen haben. Sollte jedoch hin und wieder Amotio vorkommen, so sind wir nicht berechtigt, sie als eine Folge der Operation anzusehen; eine solche würde gewiss auch ohne die Operation eingetreten sein. Man könnte vielleicht das Gegentheil behaupten, dass bei manchen Myopen, bei welchen die Linse entfernt worden, Netzhautablösung eingetreten wäre, wenn nicht die Linse entfernt worden wäre. Für keine Behauptung kann ein directer Beweis erbracht werden.

Am letzten Congress in Heidelberg berichtete Sattler, unter 68 Fällen viermal leichtere Netzhautablösung beobachtet zu haben; doch ist auch Sattler der Ansicht, dass dieselben unabhängig von der Operation seien; bei zweien ist während der Operation Glaskörper ausgeflossen und musste mit der Schere abgekappt werden; es ist daher nach Sattler's Ansicht wahrscheinlich, dass der in der Wunde gebliebene Glaskörperstrang, welcher in einem Falle nachweisbar war, durch Retraction die Abhebung der Netzhaut verursacht hat. Es folgt daher für den Operateur ein Grundsatz, bei der Extraction Glaskörpervorfall nach Möglichkeit zu vermeiden. Andererseits operirte Sattler zwei Fälle, bei denen am nicht operirten Auge Netzhautablösung gewesen ist, während die operirten Augen bisher frei davon geblieben sind. Bei einem 16jährigen Jungen trat neun Monate nach der Entlassung Abhebung infolge eines Faustschlages auf das Auge ein; einen ganz gleichen Fall habe ich bei einem 25jähr. Fräulein gesehen, bei welchem 4 Jahre nach glücklicher Entlassung und bestem Sehvermögen Ablatio nach einem Schlag auf das Auge erfolgt war. Diese Fälle geben uns Veranlassung, den entlassenen

Operirten den Rath zu ertheilen, nach Möglichkeit vor solchen Unfällen sich zu hüten.

v. Hippel hat gleichfalls der Ueberzeugung Ausdruck gegeben, dass die Möglichkeit einer Glaskörperabhebung nach der Operation an höchstgradig myopischen Augen sich nicht bestreiten lasse, zumal wenn es bei derselben zu Glaskörperverlust kommt; trotzdem trägt kein Operateur Bedenken, eine senile Katarakta bei vorhandener Myopie zu extrahiren. Dass die einfache lineare Extraction, bei welcher sich jeder erheblichere Glaskörpervorfall sicher vermeiden lässt, grössere Gefahren mit sich bringen sollte, erscheint schon von vornherein unwahrscheinlich und wird durch die Erfahrung thatsächlich widerlegt. Tritt eine Ablatio nicht im Anschluss an die Operation, sondern erst nach Ablauf längerer Zeit ein, so hat man nach v. Hippel's Ansicht kein Recht, den operativen Eingriff für dieselbe verantwortlich zu machen, denn auch ohne einen solchen erblinden bekanntlich hochgradig kurzsichtige Augen oft genug durch Netzhautabhebung. — Ich bemerke schliesslich, dass v. Hippel bisher keine Abhebung unter seinen Operirten constatirt hat.

XXI. Ueber den Krümmungshalbmesser der Hornhaut und der Linsenflächen.

v. Hippel hat zuerst ophthalmometrische Messungen an Hornhäuten höchstgradiger Myopen angestellt. Es ergaben sich dabei Werte, welche von dem physiologischen nur wenig abweichen. Die Länge des Radius schwankte zwischen 7·5 und 9·3 *mm* und betrugen im Durchschnitt 8·2 *mm*. Sehr häufig hat v. Hippel regelmässigen Astigmatismus gefunden. Die Bestimmung des letzteren und der Lage seines Meridians ist aus praktischen Gründen wichtig, da man durch eine entsprechende Lage des Hornhautschnittes den Astigmatismus zum grossen Theil ausgleichen kann (v. Hippel, Sattler). Doch

gelingt es nur ausnahmsweise, die Sehschärfe durch cylindrische Gläser zu verbessern.

Nicht so leicht lässt sich die Lage und Krümmungshalbmesser beider Flächen der Linse durch ophthalmometrische Messungen bestimmen. Die Helmholtz'sche Methode hat sich hiebei als unzureichend erwiesen, indem ungenaue Resultate erzielt worden sind. Möglicherweise spielt der von v. Hippel beobachtete, ausgebliebene Sclerosirungsprocess in den Linsen hochgradig myopischer Augen, bei deren höheren Brechkraft eine wichtige Rolle. Weitere Messungen werden jedenfalls uns Klarheit verschaffen.

XXII. Verbreitung der Myopie-Operationen.

Myopieoperationen sind im Laufe der letzten Jahre sehr zahlreich ausgeführt worden; nachstehend sind die Zahlen: Prof. Schweigger (an 100 Fälle), Pflüger (100), v. Hippel (80), Sattler (bei 80), Thier in Aachen (100), Theodor von Schröder (20), Mooren (20), Horstmann (15), Laqueur (4), Bergmeister, Vossius, Eversbusch, Schanz, Ed. Pergens (Brüssel) (14 Fälle) Haab (Zürich) (22), Wicherkiewicz, Wildmark, Eperon (Lausanne), Mooren, Schirmer, R. Greff, Georg Martin u. v. A.

Im ganzen dürften bei 1000 Fälle operirt worden sein; ich will zum Schlusse des ersten Theiles für diejenigen Herren Collegen, welche nicht im Besitze von ophthalmologischen Werken sind, einige Tabellen anführen; man kann nämlich aus denselben am besten den Verlauf, die Abnahme der Refraction und die Sehschärfe ersehen.

Indem ich von meinen Operirten Umgang nehme, ziehe ich vor, hier den geehrten Herren Lesern die an Universitätskliniken Operirten vorzuführen; denn diese sind mit möglichster Genauigkeit geprüft und beobachtet worden; solche Beispiele sprechen am deutlichsten. Aus diesem Grunde werden sie uns auch als Objecte zu praktischen Berechnungen dienen.

Professor Schweigger's publicirte Fälle.

Schweigger's objective Bestimmung der Lage des Fernpunktes durch dessen elektrische Glühschlinge.

Schweigger hat bisher bei 100 Fälle von höchstgradiger Myopie operirt. Von diesen sind jedoch nicht alle publicirt worden. Nur die ersten 15 Fälle hat Dr. Hori im Archiv f. Augenheilkunde, XXIX, S. 142 veröffentlicht.

Zum besseren Verständnis der Tabelle muss ich vorausschicken, dass Prof. Schweigger den Fernpunkt bei höchstgradiger Myopie objectiv bestimmt. Diese Methode ist die einzig sichere, um den Grad der Myopie ganz unabhängig vom Patienten und der Accommodation des Auges festsetzen zu können. Es ist dies die in der Tabelle angeführte elektrische Bestimmung des Fernpunktes. Das Princip derselben beruht darauf, dass eine Platindrahtschlinge in Form eines Hufeisens, durch eine Batterie oder Accumulator glühend gemacht wird; die Glühschlinge entwirft auf der Netzhaut ein Bild, welches nach aussen zurückgeworfen und im Fernpunkt des myopischen Auges ein deutliches Hufeisen erzeugt. Der Untersuchende sieht letzteres im Orte des Fernpunktes ganz scharf. Man misst hierauf den Abstand des Hufeisens von der Pupillenebene mit einem von Schweigger eigens dazu construirten Messapparat; die Länge vom Hufeisenbilde bis zur Irisebene zeigt die Lage des Fernpunktes. Eine genauere Beschreibung des Schweigger'schen Instrumentes befindet sich im Archiv f. Augh. XXIX., S. 147, und Bericht der Ophth. Ges. in Heidelberg 1885, S. 33.

Darnach ist der Fernpunkt bei hohen Myopiegraden von 10 Diop. angefangen in nachstehender Distanz von der Pupillarebene gelegen:

Myopie	10 D.,	Fernpunkt	in	10	*cm*
„	11 D.,	„	„	91	*mm*
„	12 D.,	„	„	83·33	„
„	13 D.,	„	„	77	„
„	14 D.,	„	„	71·4	„

Myopie	15 D.,	Fernpunkt	in	66·67 *mm*
„	16 D.,	„	„	62·50 „
„	17 D.,	„	„	59 „
„	18 D.,	„	„	55·5 „
„	19 D.,	„	„	52·6 „
„	20 D.,	„	„	50 „
„	22 D.,	„	„	45·45 „
„	24 D.,	„	„	41·67 „
„	25 D.,	„	„	40 „
„	30 D.,	„	„	33·3 „

Hiebei ist überall die sog. reelle Myopie gemeint, also ohne Rücksicht auf den Abstand des Correctionsglases vom Auge. Ferner sei bemerkt, dass Donders den Fernpunkt vom Knotenpunkt zählte, da er letzteren für das optische Centrum gehalten hat; aus optisch-physikalischen Gründen hingegen glaube ich mit Nagel den ersten Hauptpunkt für den Ort zu halten, von welchem aus der Fernpunkt zu zählen ist; die Begründung folgt später.

Name	Alter	Oper. Auge	My. Grad	Fernpunkt	S vor Oper.
1. Alfred Lehmann .	14	L	20 D	—	1/10
2. Susanne Müller . .	34	R	18 D	—	1/6
3. Anna Schmidt . .	31	R	16 D	—	1/8
4. Frieda Hertel . . .	17	R	16 D	—	1/5
5. Jenny Lazarus . .	11	R	18 D	5·5 *cm*	—
6. Gustav Krüger . .	16	R	20 D	58 *mm*	1/5
7. Anna Kiess	14	R	20 D	—	1/7·5
8. Willi Röder	14	R	15 D	65 *mm*	1/4
9. Martha Henke . . .	24	L	14 D	75 *mm*	1/4
10. Anna Hamann . .	26	L	18 D	52 *mm*	1/10
11. Max Mauer	19	R	14 D	60 *mm*	0·6
12. Hedwig Hirte . . .	21	R	16	62 *mm*	0·4
13. Bertha Hankow . .	19	R	16	51 *mm*	0·8
14. Hermann Friedrich	34	R	16 D	53 *mm*	0.15
15. Hedwig Ellisen . .	25	L	16 D	—	1/8

Sämmtliche Fälle sind in den Jahren 1892 und 1893 operirt worden.

Befund	Discission	Extraction	S	Refrac.
			nach der Operation	
—	18./V.	24./V.	4/20	— 1 D
Pigmentatrophie, Staphyloma post.	22./VI.	27./VI.	1/3	Em.
Epithelialpigment-Atrophie, Stromapigm. stark entwickelt, einzelne Glaskörpertrübungen.	2./XII.	6./XII.	1/5-4	— 1 D
Staphyloma post. anulare.	28./XII.	4./I.	6/20	cil. + 2·5
Staph. post. diffuse Atroph. Chor.	9 /II.	2 /III.	1/3-1/2$^1/_2$	+ 2 D
Staph. post., geringe Dehnungen an d. Mac. l.	27./III.	3./IV.	1/4	— 1·5 D
Strab. div., Staph. post.	13./IV.	2./V.	1/3	Em.
Staph. post.	8./V.	13./V.	1/2$^1/_2$	+ 1·5
Prominenter Bulbus; Conus, keine Chor.	13./VI.	17./VI.	1/2$^1/_2$	+ 4·5
KleineGlaskörpertrübungen, Staphyloma post., a. d. Mac. l. schwarzer Pigmentfleck, 1/4 Pap. Durch.	14 /VI.	19./VI.	1/3	Em.
Kleine Mac. corn. Conus.	2./VI.	6./VI.	0·2	Em.
Weisser Conus an der Mac. l, kleine perlschnurartig an einander gereihte weisse Punkte, aber keine chor. Herde	14./VII.	19./VII.	0·4	Em.
Kleiner Conus, pigmentarmer Augengrund.	19./VII.	22./VII.	0·5-6	— 1 D
Ausgedehnte myopische Veränderungen der Chorioidea. die sich bis in die Gegend der Macula lutea hin erstrecken.	27./X.	30./X.	Gutes Sehen; nähere Angaben fehlen.	
Glaskörpertrübungen, geringe Chorioiditis maculae luteae.	27./X.	31./X.	0·7	Em

Die von Prof. Pflüger an der Universitäts-

Nr.	Name	Alter	Refraction vor der Operation	Refraction nach der Operation	Refractions-Differenz
1	M. S.	20	— — 14	+ 3·5	17·5
2	S. E.	13½	— 13	+ 2·5	15·5
3	S. R.	21	— 14	+ 3 + 3·5	17·5
4	A. M.	17½	— 1 — 16	— 3·5	19·5
5	W. L.	21	— 1 — 16	+ 2	16
6	E. M.	26	— 1 — 16	+ 3·5	16
7	A. R.	23	0·5 — 14	+ 2·5	16·5
8	M. S.	27	— 1 — 18	— 1	17
9	N. M.	22	— 1·5 — 17	+ 1·5 + 2	19
10	H. E.	20	— 2 — 14	+ 2 + 1·5	15·5
11	R. F.	28½	— 12	+ 4	16
12	G. E.	18	— 12	+ 4	16
13	W. H.	10	— 13	+ 5	18
14	J. R.	10	— 13	+ 4	17
15	A. R.	23	— 0·5 — 14	+ 2·5	16 5
16	G. L.	34	— 18	— 2	16
17	S. K.	28	— 17	—	17

In der vierten und fünften Colonne bezeichnen die Zahlen links cylindrische, rechts sphärische Gläser.

Klinik in Bern operirten Fälle. **Linkes Auge.**

Sehschärfe vor der Operation	Sehschärfe nach der Operation	Zunahme der S.	Complicationen	Refraction des rechten Auges	
0·5	0·6	0·1	—	— 14	
0·8	0 15	0·07	Chorioid. Divergenz	— 12	
0·25	0·35	0·1	Chorioid. Divergenz	— 13 5	
0 2	0·5	0·3	Chorioiditis	— 2	— 16
0·1	0·25	0·15	Chorioiditis	— 1	— 12
0·2	0·62	0·42	Chorioid. Divergenz	— 2	— 11
0·5	1·0	0·5	Divergenz	— 2	— 11
0 1	0·3	0·2	Chorioiditis	— 1	— 18
0·2	1	0·8	Chorioiditis	— 1·5	— 13
0 3	0·75	0·45	—	— 1	— 14
0 25	0·75	0·5	Chorioiditis		— 3 5
0·1	0·75	0 05	—		— 4
0·45	1	0·55	—		— 13
0·2	0·45	0 2	—		— 13
0·5	0 75	0·25	Divergenz		— 10
0 3	0·3	—	Chorioid. Divergenz	— 1	— 16
0·3	0·35	0·05	Chorioid. Convergenz		— 16

Die Zahlen links in der letzten Colonne bezeichnen cylindrische, die rechts sphärische Gläser.

Prof. Pflügers Universitäts-

Nr.	Name	Alter	Refraction				Refractions-Differenz
			vor der Operation		nach der Operation		
1	J. E.	18		— 16		+ 2 5	18 5
2	S. E.	19		— 15		+ 3	15
3	G. E.	17		— 12	+ 1	+ 4	16
4	C. J.	15		— 11		+ 5	16
5	M. M.	17	— 2·5	— 15	+ 2	+ 1	16
6	M. M.	12		— 12		+ 2·5	14·5
7	W. E.	18		— 13		+ 3	16
8	O. E.	16	— 1·5	— 16		0	16
9	R. M.	11		— 10		+ 5	15
10	G. E.	40	— 3	— 15	— 1	0	15
11	M. M.	40	— 1	— 16	+ 1·5	+ 2·5	18·5
12	G. J.	25		— 22		— 2	20
13	K. A.	26		— 17	+ 3·5	— 1·5	18·5
14	L. E.	25		— 16	+ 1	+ 1	17
15	H. E.	7	— 1·5	— 17		+ 0·5	17·5
16	D. O.	21		— 16 5	+ 1	+ 0·5	17
17	S. R.	29		— 15		+ 1	16
18	S. P.	9		— 11		+ 6	17
19	R. S.	34		— 19·5	— 1	— 3	16·5

Die Zahlen links in der vierten, fünften und letzten Colonne

Augenklinik in Bern. **Rechtes Auge.**

Sehschärfe		Complicationen	Refraction des linken Auges	
vor der Operation	nach der Operation			
0·4	0·75	—	— 20	
0·2	0·75	—	— 15	
0·45	0·5	Divergenz	— 12	
0·15	0·5	Divergenz	— 11	
0·25	0·45	—	—2·5	—12
0.2	0·75	Chorioiditis	— 12	
0·25	0·5	—	— 13	
0 2	0·25	—	— 4	— 14
0·3	0·4	—	— 3	
0·2	0·3	Chorioiditis	— 15	
0·25	0·3	Chorioiditis	- 1	— 16
0·1	0·15	—		— 16
0·25	0·45	—		— 12
0·3	0·75	—		— 16
0·1	0·75	Chorioiditis		— 13
0·3	1	Chorioiditis	— 1·5	— 11
0·2	0·3	Chorioiditis		— 15
0·08	0·25	Chorioiditis		— 10
0 05	0·45	—		— 19

beziehen sich auf cylindrische, die rechts auf sphärische Gläser.

Professor von Hippel's Fälle I,

Name	Alter	Refraction	S	Ophthalmoskopischer Befund	Discission am
Schütte Elise Linkes Auge	17 J.	— 15·0 Ds	0·1	Staphyl. posticum. Diffuse Entfärbung des Pigmentepithels, im Fundus keine Chorioiditis.	5./VI. 93 Cat. secd. 14./X. 93
Rechtes Auge		— 15·0 Ds	< 0·3	Status idem.	29./III. 94 Cat. secd. 21./IV.
Grimm Wilh. Linkes Auge	23 J.	— 18·0 Ds	< 0·2	Staphyl. posticum, keine Chorioiditis.	23./VI. 93
Rechtes Auge		— 15·0 Ds	0·3	Status idem.	16./IX. 93 Cat. secd. 20./X. 93
Hädike Margarethe Linkes Auge	7 J.	— 20·0 Ds	0·1	Staphyl. posticum, keine Chorioiditis.	20./VII. 93 Cat. secd. 22./X. 93
Rechtes Auge		— 20·0 Ds	0·1	Status idem.	31./VII. 93 Cat. secd. 6./XII. 93
Reinecke Carl Linkes Auge	10 J.	— 18·0 Ds	0·1	Status idem.	25./IX. 93
Rechtes Auge		— 15·0 Ds	0·1	Status idem.	20./X. 93

Universitäts-Augenklinik in Halle a. S.

Extraction nach Zeit	Refraction post op.	S post. oper.	Refractions-Differenz	Verbesserung von S fach
6 Tagen (2./VI. 93) und nochmals nach 5 Tagen (16./VI. 93)	+ 4·5 Ds ⊂ + 1·0 Dcyl.	0·7 Jäger Nr. 2	19·5 D.	7-fach
9 Tagen (7./IV. 94)	+ 4·0 Ds ⊂ + 1·5 Dcyl.	0·4 Jäger Nr. 3	19·0 D.	1-fach
4 Tagen (27./VI. 93) abermals nach 4 Tagen (1./VII.) u. nach 10 Tagen (10./VII.)	+ 1·0 Ds ⊂ + 1·5 Dcyl.	0 7 Jäger Nr. 1	19·0 D.	3-fach
13 Tagen (29 /IX. 93)	+ 1·5 Ds	0·7 Jäger Nr. 1	16·5 D.	2-fach
9 Tagen (29./VII. 93) wiederholt nach 3 Wochen (18./VIII. 93)	+ 4·0 Ds	0·4 Jäger Nr. 7	24·0 D.	4-fach
12 Tagen (12./VIII. 93) nochmals nach 2 Monaten (12./X. 93)	+ 4·0 Ds	0·4 Jäger Nr. 7	24·0 D.	4-fach
5 Tagen (30./IX. 93)	+ 3·0 Ds	0·4	24·0 D.	4-fach
7 Tagen (27./X. 93)	+ 3·0 Ds	0·4	18·0 D.	4-fach

Name	Alter	Refraction	S	Ophthalmoskopischer Befund	Discission am
Mariaschek Paul	15 J.				
Rechtes Auge		— 10·0 Ds ⌢ —3 0Ds	< 0·2	Staphyl. posticum, Chorioiditische Heerde. Fundus unregelmässig pigmentirt. Iridodonesis.	13./XI. 93 Cat. secd. 6./XII. 93
Linkes Auge		— 9·0 Ds ⌢ 3·0 Ds	< 0·2	Staphyl. postic. Fundus unregelmässig pigmentirt. Keine Chorioiditis.	27./I. 94 u. 29./1. 94
Hessler Carl	21 J.				
Rechtes Auge		— 16·0 Ds	0·1	Staphyl. posticum. Mässige chorioidit. Veränderungen.	13./XI 93 hintere Kapsel 5./I. 94
Roloff Friedr.	37 J.				
Rechtes Auge		— 16·0 Ds	0·3	Staphyl. posticum, Chorioiditis centralis.	5./I. 94 hintere Kapsel 24./II.94u. 19./III. 94
Linkes Auge		— 14·0 Ds	< 0 6	Status idem.	23./XI. 94 hintere Kapsel 10./X. 94

Extraction nach Zeit	Refraction post op.	S post oper.	Refractions-Differenz	Verbesserung von S fach
11 Tagen (24./XI.) u. nochmals (10./I.94)	+ 9 0 Ds	0·6 Jäger Nr. 3	19·0 D.	3-fach
15 Tagen (13./II. 94) und abermals nach 6 Wochen (22./III.94)	+ 9·0 Ds	0·5 Jäger Nr. 3	18·0 D.	2-fach
5 Tagen (18./XI. 93)	nicht festzustellen	0·1	—	noch nicht definitiv
10 Tagen (15./I. 94)	+ 3·0 Dcyl.	> 0·8	19·0 D.	fast dreifach
9 Tagen (2./VII. 94)	+ 2·0 Ds	0·1	16·0 D.	noch nicht definitiv

Professor von Hippel's Fälle II,

Name	Alter	Refraction	S	Ophthalmoskopischer Befund	Discission am
Lüttich Selma	17 J.				
Rechtes Auge		— 15·0 Ds	0·1	Staphyl, posticum, Fundus diffus, pigmentarm. Keine Chorioiditis.	23./I. 94 hintere Kapsel 7·/V. 94
Linkes Auge		— 13·0 Ds	0·1	—	8./VI. 94
Kraus Pauline	44 J.				
Linkes Auge		— 13·0 Ds	0·1	Staphyl. posticum. Fundus circumscript, pigmentarm. Chorioiditis.	27./I. 94
Rechtes Auge		— 22·0 Ds	0·1	Staphyl. posticum. Keine Chorioiditis.	30./III. 94
Schirmer Emma	27 J.	— 15·0 Ds	$<$ 2	Staphyl. posticum. Deutliche chorioidit. Heerde.	14./II. 94 Cat. secd. 8./III. 94
Giessler Otto	6 J.				
Linkes Auge		— 18·0 Ds	0·2	Staphyl. posticum. Keine Chorioiditis. Fundus diffus pigmentarm.	3./IV. 94
Rechtes Auge		— 14·0 Ds ⌣ — 2·0 Dcyl.	—	Status idem,	29./VI. 94 hintere Kapsel 18./X. 94
Kubald Therese	18 J.				
Linkes Auge		— 9·0 Ds	0·1	Maculae corneae, staphyloma posticum. Keine Chorioiditis.	24./IV. 94 hintere Kapsel 31./V. 94
Rechtes Auge		— 13·0 Ds	0·3	Status idem.	24./VII. 94 hintere Kapsel: 17. VIII. 94

Universitäts-Augenklinik in Halle a. S.

Extraction nach Zeit	Refraction post op.	S post oper.	Refractions-Differenz	Verbesserung von S fach
13 Tagen (5./II. 94)	+ 4·5 Ds	< 0·8	19·5 D.	7-fach
7 Tagen (15./VI. 94)	+ 4·5 Ds	0·3	17·5 D.	3-fach
5 Tagen (1./II. 94) zum zweitenmale nachweiteren 8 Tagen	— 3·0 Dcyl.	< 0·7 Jäger Nr. 2	23·0 D.	6-fach
9./II. 94)	+ 0 Ds	0·7	22·0 D.	7-fach
4 Tagen (3./IV. 94)	+ 5·0 Ds	< 0·5 Jäger Nr. 6	20·0 D.	2-fach
10 Tagen (24./II. 94) und abermals am (21./III.)	—	—	—	—
20 Tagen (23./IV. 94)	+ 4·0 Ds	—	—	—
7 Tagen (6./VII. 94)	—	—	—	—
8 Tagen (2./V. 94)	+ 3·5 Ds	0·3	12·5 D.	3-fach
13 Tagen (6./VIII. 94)	+ 3·5 Ds	0·5	16·5 D.	fast 2-fach

Name	Alter	Refraction	S	Ophthalmoskopischer Befund	Discission am
Kugelmann E. Rechtes Auge	18 J.	— 14·0 Ds	0·5	Staphyl. posticum. Keine Chorioiditis.	19./V. 94
Linkes Auge		— 14·0 Ds	0·5	Status idem.	23./VI. 94
Kirchmeyer E. Linkes Auge	10 J.	— 16·0 Ds	> 0·1	Staphyl. posticum. Fundus in der Papillengegend etwas atrophisch gefärbt.	28./V. 94
Rechtes Auge		— 14·0 Ds	> 0·1	Status idem.	4./VIII. 94 hintere Kapsel 9./X. 94
Frl. L. Rechtes Auge	55 J.	— 18·0 Ds	< 0·5	Staphyl. posticum. Fundus in der Maculagegend unregelmässig pigmentirt. Keine Chorioiditis.	14./VI. 94
Schuchhardt E. Rechtes Auge	24 J.	— 14·0 Ds	< 0·4	Staphyl. posticum. Fundus etwas marmorirt. Keine Chorioiditis.	26./VI. 94 hintere Kapsel 28./VII. 94
Ziesche Auguste	21 J.	— 10·0 Ds	—	Staphyl. posticum. Papillargegend etwas unregelmässig pigmentirt. Keine Chorioiditis.	24./VII. 94

Extraction nach Zeit	Refraction post op.	S post oper.	Refrac-tions-Differenz	Ver-besserung von S fach
6 Tagen (25./V. 94)	+ 3·0 Ds ◯ + 1·5 Dc.	0·8—0·9 Jäger Nr. 1	17·0 D.	fast 2-fach
6 Tagen (29./VI. 94)	+ 3·0 Ds ◯ + 1·5 Dc.	0·8—0·9 Jäger Nr. 1	17·0 D.	fast 2-fach
13 Tagen (12./VI 94)	+ 2·5 Ds	0·4 Jäger Nr. 6	18·5 D.	ca. 4-fach
9 Tagen (13./VII 94)	+ 1·5 Ds	0·6 Jäger Nr. 4	15·5 D.	ca. 6-fach
12 Tagen (26./VI. 94) und abermals am 3. VII. 94 u. 6./VIII. 94) Extraction der Kapsel am 16./X. 94.	+ 1·0 D ◯ — 1·0 Dcyl.	0·6	18·0 D.	$^{2}/_{3}$-fach
10 Tagen (6./VII. 94) und nochmals nach 10 Tagen (16./VII.) und nach weiteren 3 Wochen.	+ 1·5 D ◯ + 1·5 Dc.	> 0·6	15·5 D.	fast 2-fach
6 Tagen (30./VII. 94)	—	—	—	—

Myopie-Fälle, welche Prof. Vossius in Giessen operirt hat.

Name und Stand	Alter	Refraction			Sehvermögen		
		vorher	nachher	Abnahme	vorher	nachher	Zunahme
1. L. S. Schmied.	23 J.	— 18 D	+ 3·5 D	21·5 D	0·2	0·33	0·13
2. H. H. Taglöhner.	15 J.	— 11 D	+ 2·0 D	13·0 D	< 0·16	0·25	fast 0·1
3. u. 4. R. F. Buchbinder.	21 J.	r — 23 D l — 23 D	6 Ds—1 D	22·0 D	r 0·1 l < 0·1	r > 0·33 l 0·33	> 0·23 > 0·23
5. W. R. stud. jur.	20 J,	— 30 D	— 1·5 D	28·5 D	0·2	0·4	0·2
6. H. K. L. Dienstmädchen.	$15^1/_2$ J	— 16 D	+ 2·0 D	18 D	0·2	0·33	0·13
7. H. N. Arbeitertochter.	7 J.	ca — 10 D	+ 7 0 D	ca. 17 D	< 0·16	0·3	ca. 0·15
8. K. R. Locomotivführertochter.	18 J.	— 18 D	+ 3·0 D	21 D	0·1	0·4	0·3
9. F. S. Knecht	20 J.	— 10 D	+ 5·0 D	15 D	< 0·1	0·25	ca. 0·2

ZWEITER THEIL.

DIE BERECHNUNG DER AXENLÄNGE, OPTISCHEN CONSTANTEN DES AUGES UND BILDGRÖSSE.

Die Dioptrik des Auges gemeinfasslich dargestellt.

1. Durch das Vorsetzen von sphärischen Gläsern treten Aenderungen in der Brechung des optischen Apparates des Auges ein; alle Cardinalpunkte erhalten dadurch eine andere Lage und bedingen gleichzeitig einen Wechsel in der Grösse der Netzhautbilder. Wie man sieht, entsteht eine Kette, deren Glieder innig in einander greifen; jede Veränderung des Wertes eines Gliedes bringt eine ganze Reihe weiterer Aenderungen mit sich.

Es ist daher einleuchtend, dass zum richtigen Verständniss der optischen Vorgänge die Kenntniss der Dioptrik unumgänglich nöthig ist. Doch wer nicht hinreichende Zeit hat, sich damit eingehend zu befassen und dennoch die Berechnungen der Axenlänge und Lage der Knotenpunkte ausführen will, der möge bei den Uebungen in der Ausführung der Berechnungen, die man am Schlusse findet, nachsehen und wird darin leicht den gewünschten Leitfaden finden.

Durch die Beseitigung der Linse, sowie das nachfolgende Vorsetzen einer corrigirenden Brille tritt im Auge eine weitere Veränderung der Lage aller Cardinalpunkte ein. Wir haben daher die Aufgabe, uns vor allem mit der Construction des optischen Apparates vertraut zu machen. Dann ergibt sich auch mit Leichtigkeit die Ableitung aller Formeln, deren wir uns bei Berechnungen bedienen.

Ausserdem ist die Kenntniss der Dioptrik speciell bei der operativen Behandlung hoher Myopie von besonderer Wichtigkeit; sie hilft uns zu erklären, auf welche Weise das Sehen nach Extraction der Linse gebessert wird. Die Beant-

wortung dieser Frage ist ziemlich schwierig und können wir oft nur einen Theil der Vervielfältigung des Sehvermögens durch die Verkleinerung infolge starker Concavgläser und spätere Vergrösserung der Netzhautbilder erklären.

Man sieht daraus, dass neben der Vergrösserung der Netzhautbilder auch noch andere Gründe zur Verbesserung des Sehens beitragen. Vor allem spielt hier die veränderte Construction des optischen Apparates, aus dessen Mitte wir einen der wesentlichsten brechenden Körper herausgenommen haben, die Hauptrolle; nebenbei werden durch die Aphakie weiter Uebelstände, durch welche das Sehen beeinträchtigt wird, beseitigt; ich nenne hier alle Nachtheile starker Concavgläser, das Wegfallen der Linsenreflexe und die schwächere Beleuchtung an der Stelle der Macula lutea; denn starke Concavgläser haben einen weiteren Nachtheil: sie zerstreuen die Strahlen derart, dass der centrale Theil (also der Ort des gelben Fleckes) die schwächste Beleuchtung erhält, während in der Peripherie das meiste Licht sich befindet. Die Erörterung dieser Frage wird demnächst an einer anderen Stelle erscheinen.

I. Gesetze der einfachen Brechung der Strahlen.

Dieselbe findet statt, wenn ein Lichtstrahl aus einem durchsichtigen Medium in ein anderes von verschiedener Dichte tritt. Wenn beide Medien nicht gleiche Dichte haben, dann ändert der Strahl an ihrer Grenze plötzlich seinen geradlinigen Weg, pflanzt sich aber im neuen Medium wieder geradlinig weiter fort.

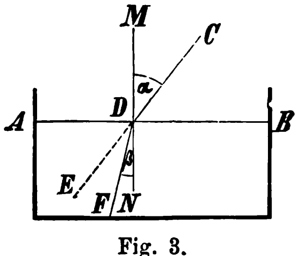


Fig. 3.

AB sei die Trennungsfläche zwischen Luft und Wasser (Fig. 3) und *CD* der einfallende Strahl, so ist der Weg des gebrochenen Strahles im Wasser *DF*. Die Linie *MN*, welche im Einfallspunkte *D* senkrecht auf *AB* errichtet ist, nennt man das Einfallsloth; den Winkel α den Einfallswinkel und den Winkel β *(FDN)* den Brechungswinkel.

Ist α grösser als β, wie in der Figur angenommen wurde, so sagt man: der Strahl ist zum Einfallsloth gebrochen; ist α kleiner als β, so erfolgt die Brechung vom Einfallsloth.

2. Die Gesetze der einfachen Brechung sind:

a) Der einfallende, der gebrochene Strahl, und das Einfallsloth liegen in derselben Ebene.

b) Das Verhältniss der Sinuse des Einfalls- und des Brechungswinkels ist für jeden Einfallswinkel constant. Diese constante Zahl nennt man den **Brechungsindex, Index, Brechungsexponent** der betreffenden Substanz und bezeichnet sie mit n.

Es ist also $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n.$

Mag der Winkel α gross sein wie immer, stets bleibt $\sin \alpha : \sin \beta$ eine gleiche Zahl. Ist z. B. die gewählte Substanz Wasser und der Einfallswinkel $\alpha = 60^0$, so ergeben die Versuche, dass dann $\beta = 40^0\ 30'\ 20''$ beträgt. Nun ist sin von $60^0 = 0{\cdot}86603$, sin $40^0\ 30'\ 20'' = 0{\cdot}64952$; es ist also der Brechungsindex aus Luft in Wasser

$$\frac{0{\cdot}86603}{0{\cdot}64952} = 1{\cdot}3333, \text{ oder } n = 4/3$$

Denken wir uns, es sei *F* (Fig. 3) der leuchtende Punkt, also *FD* der einfallende, *DC* der aus Wasser in die Luft gebrochene Strahl, so ist jetzt der Einfallswinkel β und α der Brechungswinkel. Es ist dann der Brechungsexponent aus Wasser in die Luft gleich $\sin \beta : \sin \alpha$.

Vergleicht man dies mit dem Ausdruck für den Brechungsexponent aus Luft in Wasser, so sieht man, dass es der reciproke Wert dieses Ausdruckes ist.

Brechung durch mehrere Medien.

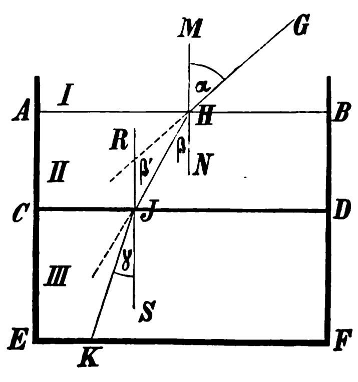


Fig. 4.

3. Es sei *AB* die Trennungsfläche zwischen Luft *(I)* und Wasser *(II)*, *CD* die Trennungsfläche zwischen Wasser und einem anderen Medium, etwa Schwefelkohlenstoff *(III)*; *GH* sei der einfallende Strahl. Nach der ersten Brechung in *H* legt der Strahl im Wasser den Weg *HJ* zurück, erleidet in *J* eine nochmalige Brechung zum Einfallsloth und gelangt nach *K*.

Man setze den Index aus Luft in Wasser $= n$, aus Wasser in Schwefelkohlenstoff n'. Es ist somit $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$.
Für die Fläche *CD* ist der Einfallswinkel β' der Brechungswinkes γ, also

$$\frac{\sin \beta'}{\sin \gamma} = n'.$$

Wir suchen jetzt den Brechungsindex n'' aus Luft *(I)* in Schwefelkohlenstoff *(III)*, d. h. das Verhältnis $\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$

Wir haben: $\dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n$

$$\frac{\sin\beta'}{\sin\gamma}\, n' =$$

Durch Multiplication beider Gleichungen erhalten wir

$$\frac{\sin\alpha\,\sin\beta}{\sin\beta\,\sin\gamma} = nn'$$

Nun ist $\beta = \beta'$, weil MN parallel zu RJ ist, daher das gesuchte Verhältnis $\dfrac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = nn' = n''$

Regel: Der Brechungsexponent $\dfrac{I}{III}$ ist also gleich dem Producte der Exponenten $\dfrac{I}{II}$ und $\dfrac{II}{III}$

II. Strahlenbrechung durch ein Prisma.

4. Prisma im optischen Sinne ist ein durchsichtiger Körper, dessen Eintritts- und Austrittsfläche nicht parallel sind. Ein auf das Prisma fallender Strahl AB erleidet eine

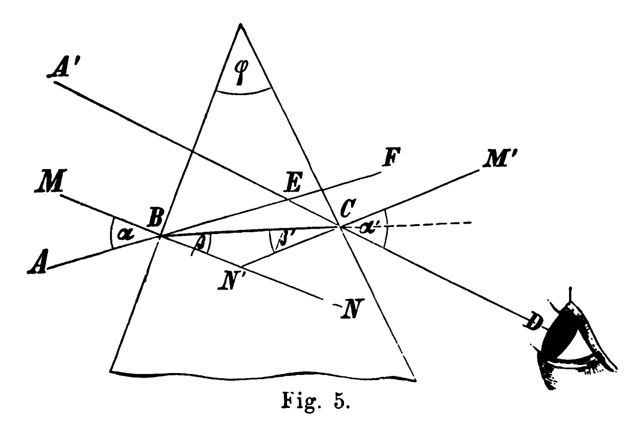


Fig. 5.

zweimalige Brechung: beim Eintritt ins Glas erfolgt die Brechung zum Einfallsloth BM, wodurch er die Richtung BC

erhält und beim Austritt aus dem Glase in die Luft, also in ein dünneres Medium eine nochmalige Brechung vom Einfallsloth *N' C*, so dass er das Glas in der Richtung *CD* verlässt. Die Gesammtablenkung wird durch den Winkel *FED* gemessen und hängt von dem Brechungsindex der Prismensubstanz, sowie von der Grösse des brechenden Prismenwinkels φ ab.

Ein in *D* befindliches Auge sieht den leuchtenden Punkt *A* nicht an seinem wahren Ort in *A*, sondern in der Richtung *DC* (etwa in *A'*).

Ausser der Brechung erfährt der Strahl bei seinem Durchgang durch das Prisma noch eine andere merkwürdige Veränderung: der ursprünglich farblose (weisse) Strahl, wird in sieben verschiedenfarbige Strahlen zerlegt. Fängt man den das Prisma verlassenden Strahl in einiger Entfernung auf einem weissen Schirm auf, so sieht man das abgelenkte Bild der Lichtquelle in die Länge gezogen und aus sieben farbigen Streifen bestehend, oder das sogenannte Spectrum. Die Farben bilden die Reihe: roth, orange, gelb, grün, blau, indigo, violett. Roth ist am wenigsten, violett am meisten abgelenkt. Diese Erscheinung nennt man die Farbenzerstreuung oder Dispersion des Lichtes.

III. Brechung durch eine sphärische Fläche.

5. Mit Hilfe des Snellius'schen Brechungsgesetzes kann man den Gang eines Lichtstrahles verfolgen, der durch eine sphärische Fläche gebrochen wurde, wenn der Brechungsindex der hinter jener Fläche liegenden Substanz bekannt ist.

Ist nämlich α der Winkel, den der einfallende Strahl mit der Normale des betreffenden Flächenelementes einschliesst, n der Brechungsindex der Substanz, so findet man den Winkel β zwischen jener Normale und dem gebrochenen Strahl aus der Gleichung $\sin \beta = \sin \alpha : n$.

Aus dieser Relation ergibt sich, dass $\beta = 0$ ist, wenn $\alpha = 0$, d. h. wenn der einfallende Strahl die Richtung der

Normale hat, so wird er gar nicht gebrochen und behält auch in dem hinter der brechenden sphärischen Fläche liegenden Medium die Richtung der Normale bei. Diesen Strahl nennt man den Hauptstrahl des leuchtenden Punktes; man findet ihn, wenn man den Punkt mit dem Mittelpunkt der brechenden Kugelfläche durch eine Gerade verbindet.

Alle anderen Strahlen, die von dem Punkt A auf die Fläche fallen, werden gebrochen. Es sei L (Fig. 6) einer

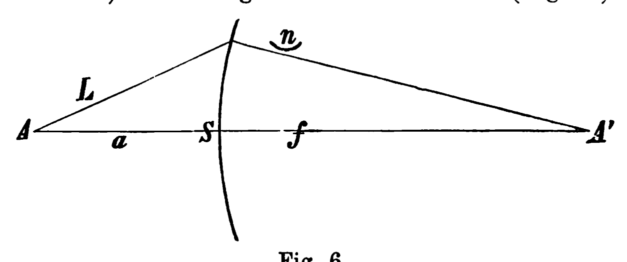


Fig. 6.

von diesen Strahlen. Nach dem Durchgang durch die brechende Fläche wird er abgelenkt und begegnet dem Hauptstrahl in A'. In der theoretischen Optik wird nun bewiesen, dass alle von A auf die sphärische Fläche fallenden Strahlen nach der Brechung durch denselben Punkt A' gehen müssen[1]). Die Punkte A und A' nennt man conjugierte Punkte, und bezeichnet A' als das Bild von A. Zwischen der Entfernung des leuchtenden Punktes vom Scheitel S der brechenden Fläche, und der Entfernung seines Bildes von demselben Scheitel S, besteht eine einfache Relation, deren Ableitung in jeder elementaren Physik zu finden ist.

Bezeichnet a die Entfernung des Punktes und f die seines Bildes vom Scheitel S, ρ den Radius der brechenden Fläche, n den Brechungsindex des hinter der brechenden Fläche liegenden Mediums, so lautet diese Relation:

---

[1]) Streng genommen gilt das nur für einen unendlich dünnen Strahlenkegel, dessen Axe $A\,S$ ist. Solche Strahlen, die ganz nahe von S die Fläche treffen, nennt man Centralstrahlen, die weiter gegen den Rand fallenden, aber Randstrahlen.

$$f = \frac{n a \rho}{na - a - \rho}.$$

Sie gestattet die Vereinigungsweite der durch eine sphärische Fläche gebrochenen Strahlen zu berechnen, wenn a, ρ und n gegeben sind.

Um dieselbe für manche Anwendungen brauchbarer zu machen, transformiren wir sie, wie folgt:

$$\frac{1}{f} = \frac{n-1}{n\rho} - \frac{1}{na} \quad \ldots\ldots \quad 1).$$

Brennpunkte einer sphärischen Fläche.

6. Strahlen, die von einem unendlich weit entfernten Punkte kommen, bezeichnet man als parallel, und umgekehrt von parallelen Strahlen sagt man, sie kämen von einem unendlich weit entfernten Punkt.

Den Punkt, wo sich parallele Strahlen nach der Brechung vereinigen, nennt man den zweiten oder hinteren Brennpunkt der Fläche, und seine Entfernung vom Scheitel zweite Brennweite.

Diese Vereinigungsweite findet man aus 1), wenn man darin ∞ statt a setzt. Bezeichnen wir sie mit $F_{,,}$ so haben wir:

$$\frac{1}{F_{,,}} = \frac{n-1}{n\rho} \text{ oder } F_{,,} = \frac{n\rho}{n-1} \quad \ldots \quad 2).$$

Dieser Punkt ist in der Figur mit $F_{,,}$ bezeichnet.

Nur die mittleren, der Axe sehr nahen Strahlen, vereinigen sich in $F_{,,}$, die Randstrahlen hingegen (in der Figur 7

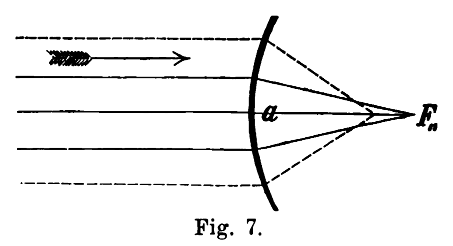


Fig. 7.

die punktirten) vereinigen sich näher als im Brennpunkte. Man nennt dies die sphärische Aberration, oder Abweichung

wegen der Kugelgestalt der brechenden Fläche. Sie wirkt störend auf die Deutlichkeit der Bilder, weshalb man bei optischen Instrumenten bestrebt ist, die Randstrahlen durch Blenden abzuhalten und unwirksam zu machen.

Bezüglich der Vorzeichen der hier in Betracht kommenden Grössen muss bemerkt werden, dass a als positiv zu gelten hat, wenn der leuchtende Punkt links von der brechenden Fläche steht, f ist positiv, wenn sich die Strahlen rechts von der brechenden Fläche (also auf der entgegengesetzten Seite wie der leuchtende Punkt) vereinigen, endlich ist ρ positiv, wenn die brechende Fläche den ankommenden Strahlen ihre convexe Seite zukehrt.

Suchen wir ferner jene Entfernung des leuchtenden Punktes von S, von welchem ausgehende Strahlen nach der Brechung parallel werden (d. h. sich erst in unendlich grosser Entfernung schneiden, so haben wir 1) ∞ statt f zu setzen. Bezeichnen wir jene Entfernung mit $F_,$ so haben wir

$$0 = \frac{n-1}{n\rho} - \frac{1}{n F_,} \text{ oder } F_, = \frac{\rho}{n-1} \quad . \quad . \quad 3).$$

Den Punkt, von dem ausgehende Strahlen nach der Brechung durch eine sphärische Fläche parallel werden, nennt man ersten oder vorderen Brennpunkt und seine Entfernung vom Scheitel die erste (vordere) Brennweite.

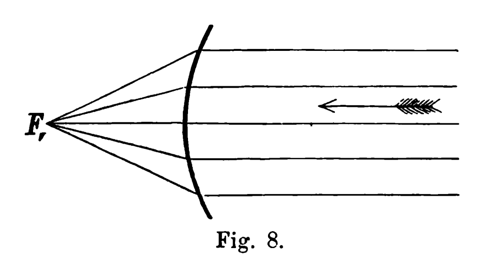


Fig. 8.

In der Figur ist dieser Punkt mit $F_,$ bezeichnet. Durch Vergleich mit 2) findet man, dass

$$F_{,,} = nF_, \text{ ist} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4).$$

Mit Hilfe der eben gewonnenen Formeln können wir die Gleichung 1) bedeutend vereinfachen. Schreiben wir sie in der Form

$$\frac{1}{n\,a} + \frac{1}{f} = \frac{n-1}{n\,\rho},$$

und dividiren durch den rechtsstehenden Ausdruck, so ergibt sich:

$$\frac{\rho}{a(n-1)} + \frac{n\,\rho}{f(n-1)} = 1,$$ und mit Rücksicht auf 2) und 3)

$$\frac{F_{,}}{a} + \frac{F_{,,}}{f} = 1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5).$$

Zur Berechnung von f erhält man daraus:

$$f = \frac{a\,F_{,,}}{a - F_{,}}. -$$

IV. Reelle und imaginäre Brennpunkte.

7. Die hier abgeleiteten Formeln gelten zunächst für den Fall, dass die Kugelfläche den ankommenden Strahlen ihre convexe Seite zukehrt. (Fig. 7.) Kämen die Strahlen von A', dann müsste infolge der Reciprocität, welche zwischen dem leuchtenden Punkt und seinem Bild besteht, A das Bild von A' sein. Jetzt wäre f die Gegenstands-, a die Bildweite.

Um die letztere zu berechnen, hätte man also in der eingangs angeführten Formel a und f zu vertauschen, und statt n seinen reciproken Wert $\frac{1}{n}$ zu setzen. Führt man die angedeuteten Substitutionen aus, so resultirt für f eine Formel, die sich von der mitgetheilten nur durch das Vorzeichen von ρ unterscheidet.

Hieraus folgt, dass man die mitgetheilte Formel 1) und die daraus abgeleiteten 2) und 3) allgemein anwenden kann, mit der Vorsicht, dass man bei ρ das Zeichen ändert, wenn die Fläche den ankommenden Strahlen ihre concave Seite zukehrt.

Die Formel 1) gibt aber, wenn die Fläche ihre concave Seite den ankommenden Strahlen zukehrt und $n > 1$ ist, ein negatives Resultat für f. Erinnert man sich unserer Festsetzung bezüglich des Vorzeichens von f, so bedeutet dieses negative Resultat, dass der Vereinigungspunkt der gebrochenen Strahlen links von der Fläche, also auf derselben Seite wie der leuchtende Punkt liegt. Die Strahlen verlassen die Fläche divergirend, so als kämen sie von einem vor (links) der Fläche liegenden Punkt, der aber mit dem leuchtenden Punkte nicht zusammenfällt. Solche Punkte, in denen sich nicht die Strahlen selbst, sondern ihre rückwärtigen Verlängerungen schneiden, nennt man imaginäre Vereinigungspunkte.

V. Anwendungen.

8. Die gewonnenen Formeln, wollen wir auf ein aphakisches Auge anwenden. Dieses besteht aus einer einzigen (nahezu) sphärischen Fläche, vor welcher Luft, hinter welcher der Glaskörper sich befindet.

Der Brechungsindex der Hornhaut und des Glaskörpers sind nahezu gleich, $n = 1{\cdot}3365$; der Radius der Hornhaut $\rho = 7{\cdot}829$. (S. Helmholtz's phys. Optik, 2. Aufl. S. 140.)

$$\text{Hiemit ist } F_{,} = \frac{\rho}{n-1} = \frac{7{\cdot}829}{1{\cdot}3365 - 1} = \mathbf{23{\cdot}266.}$$

$$F_{,,} = n\,F_{,} = 23{\cdot}266\,.\,1{\cdot}3365 = \mathbf{31{\cdot}095.}$$

Das sind die Brennweiten des aphakischen Auges, welche wir bei der Berechnung der Axenlänge operirter myopischer Augen sehr oft brauchen werden.

Wenn also die Axe eines hochgradig myopischen Auges 31·095 lang ist, dann wird dieses Auge im aphakischen Zustande emmetropisch werden, d. h. es werden parallele Strahlen ohne Hilfe eines Correctionsglases gerade auf der Macula lutea zu einem Bild vereinigt, mit anderen Worten: ein kurzsichtiges Auge mit der Axenlänge 31·095 *mm* sieht

nach Entfernung der Linse in die Ferne genau. Hat aber die Axe die normale Länge 22·819 *mm*, so wird das Auge zu einem hypermetropischen.

VI. Abbildung von Objecten durch brechende sphärische Flächen.

9. Es stelle AB ein Object und SD eine sphärische Fläche vor:

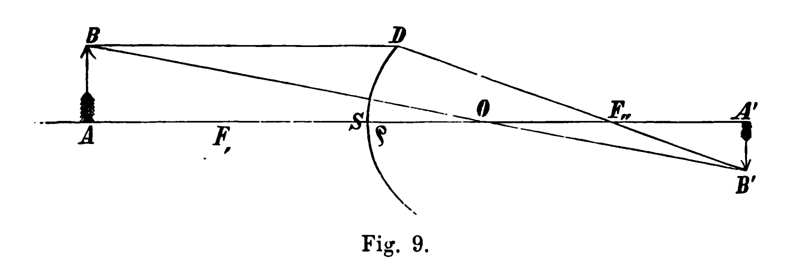


Fig. 9.

Construction des Bildes bei einer brechenden Fläche:
$AS = a$, Entfernung des Objectes vom Scheitel S.
$A'S = f$, Entfernung des Bildes von S.
S, Scheitel der sphärischen Fläche DS.
$F_{,}S = F_{,}$, vordere Brennweite.
$F_{,,}S = F_{,,}$, hintere Brennweite.
O, Mittelpunkt der Kugelfläche
ρ Radius derselben, $= SO$.

Um das Bild von AB zu finden, zieht man zunächst vom Punkte B die Linie BOB' durch den Mittelpunkt der Kugel. Diese Linie stellt den ungebrochenen Hauptstrahl vor, in dessen Richtung das Bild von B liegen muss. Wir ziehen ferner als zweiten Strahl BD, welcher parallel zur Axe läuft; ein Strahl, der diese Eigenschaft hat, muss nach der Brechung durch den zweiten Brennpunkt $F_{,,}$ gehen. Er schneidet den Hauptstrahl in B'; der Schnittpunkt B' beider Strahlen ist das Bild von B; die Senkrechte $B'A'$ ist also das Bild vom Objecte AB.

In der Fig. 10 sind die Dreiecke ABO und $A'B'O$ ähnlich, daher verhält sich

$$\frac{A\,B\,\text{(Gegenstand)}}{A'\,B'\,\text{(Bild)}} = -\frac{A\,O}{A'\,O}.$$

Das vorgesetzte Zeichen „—" bedeutet, dass der Gegenstand und sein Bild bezüglich der Axe entgegengesetzte Lage haben.

Nun ist

$$AO = a + \rho$$

$$\text{und } A'O = f - \rho$$

$$\text{daher } \frac{A\,B}{A'\,B'} = \frac{a+\rho}{f-\rho} \quad \ldots\ldots \quad 6).$$

Wenn wir also die Entfernung nicht vom Scheitel, sondern vom Mittelpunkt O rechnen, so erhalten wir das sehr einfache Gesetz:

Object und Bild verhalten sich, wie ihre Entfernungen vom Krümmungsmittelpunkt der Kugelfläche.

Die unter 6) gefundene Formel für das Verhältniss des Objectes zu seinem Bilde, lässt sich, wie folgt, transformiren.

$$\text{Aus: } f = \frac{n\,a\,\rho}{n\,a - a - \rho}, \text{ folgt}$$

$$f - \rho = \frac{n\,a\,\rho}{n\,a - a - \rho} - \rho = \frac{n\,a\,\rho - n\,a\,\rho + a\,\rho + \rho\,.\,\rho}{n\,a - a - \rho} =$$

$$= \frac{\rho\,(a+\rho)}{n\,a - a - \rho}.$$

Dividirt man beiderseits durch $a + \rho$, so erhält man

$$\frac{f-\rho}{a+\rho} = \frac{\rho}{n\,a - a - \rho}, \text{ oder}$$

$$\frac{a+\rho}{f-\rho} = \frac{n\,a - a - \rho}{\rho};$$

daher $-\frac{O\ (\text{Object})}{B\ (\text{Bild})} = \frac{a(n-1)-\rho}{\rho} = \frac{a - \frac{\rho}{n-1}}{\frac{\rho}{n-1}}$

indem man Zähler und Nenner durch $n-1$ dividirt.

Aus der Formel 3) ist $F_{,} = \frac{\rho}{n-1}$, daher

$$-\frac{O\ (\text{Object})}{B\ (\text{Bild})} = \frac{a - F_{,}}{F_{,}}$$

Aus 5) erhält man

$$\frac{F_{,}}{a} = \frac{f - F_{,,}}{f}, \text{ und } \frac{a - F_{,}}{a} = \frac{F_{,,}}{f}$$

Durch Division der ersten Gleichung durch die zweite erhält man

$$\frac{F_{,}}{a} \cdot \left(\frac{a}{a - F_{,}}\right) = \left(\frac{f - F_{,,}}{f}\right) \cdot \frac{f}{F_{,,}}, \text{ daher}$$

$$\frac{a - F_{,}}{F_{,}} = \frac{F_{,,}}{f - F_{,,}}.$$

Man hat also die Regel:

$$-\frac{\mathbf{O\ (Object)}}{\mathbf{B\ (Bild)}} = \frac{F_{,,}}{f - F_{,,}} = \frac{a - F_{,}}{F_{,}}$$

10. Man kann dieselbe Formel durch nachstehende geometrische Betrachtung in einfacherer Weise ableiten.

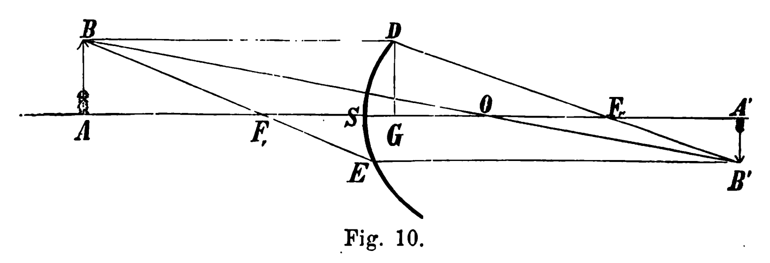


Fig. 10.

Da wir nur sehr nahe um den Scheitel auffallende Strahlen betrachten, so kann der sehr kleine Bogen SE

(Fig. 10) als eine zur Axe senkrechte Gerade betrachtet werden, welche der Geraden $A'B'$ gleich ist.

Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke $ABF_{,}$ und $F_{,}SE$ folgt:

$$AB : A'B' = AF_{,} : F_{1}S.$$

Nun ist $AF_{,} = AS - F_{,}S = a - F_{,}$ und $F_{,}S = F_{,,}$ daher

$$AB : A'B' = a - F_{,} : F_{,,} \text{ oder}$$

$$-\frac{O}{B} = \frac{a - F_{,}}{F_{,}}.$$

Aus demselben Grunde kann man den Bogen $DS = DG = AB$ und $F_{,,}G = F_{,,}S$ setzen.

Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke $F_{,,}DG$ und $F_{,,}A'B'$ folgt:

$$DG : A'B' = AB : A'B' = GF_{,,} : F_{,,}A'; \text{ daher}$$

$$-\frac{\text{Object}}{\text{Bild}} = \frac{F_{,,}}{f - F_{,,}}.$$

Anmerkung: Soll das Bild dem Objecte an Grösse und Lage gleich sein, so muss $-\frac{a - F_{,}}{F_{,}} = 1$ oder $-\frac{F_{,}}{f - F_{,,}} = 1$ sein.

Aus der ersten Gleichung folgt, $a = o$ als die dazu nothwendige Bedingung, aus welcher man ersieht: dass der Scheitel der brechenden Fläche sein eigenes Bild ist.

Aus der zweiten Gleichung folgt als Bedingung $f = o$, welche aber schon in der ersten enthalten ist, denn wenn $a = o$, ist f nothwendig auch o.

VII. Von den Linsen.

11. Ein von zwei sphärischen Flächen begrenzter, durchsichtiger Körper wird **Linse** genannt. Die Verbindungslinie der Krümmungsmittelpunkte jener Flächen ist die **Axe**, und die Schnittpunkte der Axe und der Linsenflächen sind **Scheitel** der Linse. Jene Linsenfläche, die von den an-

kommenden Strahlen zuerst getroffen wird, nennen wir die erste, die andere die zweite.

Den Krümmungsradius der ersten und zweiten Linsenfläche nennen wir beziehungsweise r und r', den Abstand der Scheitel beider Linsenflächen d, den Brechungsindex aus Luft in die Linsensubstanz n.

Für eine einzige brechende Fläche, die beiderseits von verschiedenen Medien begrenzt ist, deren Hauptbrennweiten F_1 und F_2 sind, fanden wir zwischen der Gegenstandsweite a und seiner Bildweite f (beide vom Scheitel der Fläche gerechnet), die Beziehung:

$$\frac{F_1}{a} + \frac{F_2}{f} = 1$$

Eine ebenso einfache Formel lässt sich für mehrere brechende centrirte Kugelflächen finden, wenn man die Gegenstands- und Bildweite nicht von den Scheiteln, sondern von zwei anderen Punkten, den Hauptpunkten, rechnet. Um den Gang der Rechnung zu zeigen, wollen wir dieselbe für zwei brechende Flächen (eine Linse) durchführen. Hiebei werden wir Ausdrücke zur Berechnung der Lage jener merkwürdigen, von Gauss entdeckten Punkte gewinnen.

Man hat verschiedene Berechnungsweisen schon in Anwendung gebracht und demgemäss auch die Resultate in verschiedener Form erhalten; aber praktisch am besten zu verwerten sind jene Resultate, wo die vorkommenden Grössen der Messung am leichtesten zugänglich sind, und die, was die Form anbelangt, am wenigsten complicirt sind. Man gewinnt sie leicht auf folgende Art.

Die erste Linsenfläche entwirft von dem um a von ihrem Scheitel entfernten Punkte ein Bild, welches auf der andern Seite jener Fläche um f von ihm entfernt ist. Zwischen a, f und den Brennweiten F_1 und F_2 der Fläche besteht die Gleichung

$$\frac{F_1}{a} + \frac{F_2}{f} = 1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1.)$$

Dieselbe Bedeutung sollen die Buchstaben α, φ, ψ_1, ψ_2 für die zweite Fläche haben. Diese entwirft vom Bilde wieder ein Bild, dessen Entfernung φ vom Scheitel der zweiten Linsenfläche aus der Formel

$$\frac{\psi_1}{\alpha} + \frac{\psi_2}{\varphi} = 1 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 2).$$

zu berechnen ist. Hier bedeutet α die Entfernung des von der ersten brechenden Fläche entworfenen Bildes, vom Scheitel der zweiten Fläche. Nennt man die Entfernung der Scheitel beider Linsenflächen (Linsendicke) d, so ist offenbar

$$\alpha = f - d$$

und ist mit negativem Zeichen zu nehmen, weil jener imaginäre leuchtende Punkt, der für die zweite Fläche das Object ist, auf der entgegengesetzten Seite liegt, als der Punkt S. Führt man die angedeuteten Rechnungen aus, so findet man einen complicirten Ausdruck, der in dieser Form fast niemals gebraucht wird; wir unterlassen es daher, ihn hier zu setzen.

Die Brennweiten der Linse können wir aber ohne viel Rechnungsaufwand finden. Setzt man nämlich in 1) ∞ für a ein, so folgt $f = F_2$, daher $\alpha = F_2 - d$. Nach Einsetzung dieses Wertes von α in die zweite Gleichung ist der sich für φ ergebende Wert die zweite Brennweite der Linse, die wir mit F_2' bezeichnen wollen. Man findet

$$-\frac{\psi_1}{F_2 - d} + \frac{\psi_2}{\varphi} = 1 \text{ und } F_2' = \frac{\psi_2 (F_2 - d)}{F_2 + \psi_1 - d} \quad . \; . \quad 3).$$

Ebenso ist die erste Brennweite jener Wert von a, für welchen $\varphi = \infty$ wird. Aus dieser Bedingung folgt, dass $\psi_1 = \alpha$ oder da $\alpha = -(f - d)$ ist, dass $\psi_1 = -(f - d)$ sein muss.

Aus der Gleichung 1) findet man aber:

$$f = \frac{a F_2}{a - F_1} \text{ also } f - d = \frac{a F_2 - ad + d F_1}{a - F_1}$$

Nennt man jene Entfernung a des leuchtenden Punktes von der Linse, für welche $\varphi = \infty$ wird, F_1', so hat man

$$-\psi_1 = \frac{F_1' F_2 - F_1' d + d F_1}{F_1' - F_1} \text{ und}$$

$$F_1' = \frac{F_1 (\psi_1 - d)}{F_2 + \psi_1 - d} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4).$$

Wenden wir uns zur Berechnung der Bildgrösse B, von einem im Abstande a vor (d. h. links) der Linse stehenden Object O.

Für eine brechende Fläche fanden wir

$$-\frac{O}{B} = \frac{F_2}{f - F_2}$$

Jetzt wird B zum Object für die zweite Linsenfläche, die davon ein Bild b entwirft; demgemäss gilt die Relation

$$\frac{B}{b} = \frac{\psi_2}{\varphi - \psi_2}$$

Durch Multiplication beider Ausdrücke findet man

$$-\frac{O}{B} \cdot \frac{B}{b} = -\frac{O}{b} = \frac{F_2 \psi_2}{(f - F_2)(\varphi - \psi_2)} \quad . \quad . \quad 5).$$

Nach Einsetzung der Werte von f und φ aus obigen zwei Gleichungen erhält man einen complicirten Ausdruck für die Vergrösserung, resp. Verkleinerung, auf den wir hier nicht weiter eingehen wollen, da wir durch Einführung der Hauptpunkte einen wesentlich einfacheren erhalten werden.

Jene schon öfters erwähnten Punkte, von denen wir fortan die Gegenstands- und Bildweiten rechnen werden, nennt man Hauptpunkte.

VIII. Hauptpunkte.

12. Hauptpunkte sind zwei in der Axe einer Linse oder eines optischen Systems gelegene Punkte, welche nachstehende Eigenschaft haben:

Ein im ersten Hauptpunkt senkrecht zur Axe aufgestellter Gegenstand gibt im zweiten

Hauptpunkt ein Bild, welches an Grösse und Lage ihm (dem Gegenstand) gleich ist.

Ist vor und hinter der Linse dasselbe Medium, so gilt folgender Satz:

Ein Strahl, der gegen den ersten Hauptpunkt zielt, verlässt die Linse so, als käme er vom zweiten Hauptpunkt, parallel der Richtung des einfallenden Strahles.

Hauptebenen sind jene Ebenen, welche man im Hauptpunkte senkrecht auf die Axe des optischen Systems aufgestellt sich denkt.

Wir unterscheiden demnach einen ersten und zweiten Hauptpunkt, eine erste und zweite Hauptebene.

Wendet man die Formel 3) auf einen in der ersten Hauptebene liegenden Gegenstand an, so hat man zufolge der eben gegebenen Definition

$b : O = 1$, daher aus Formel 5)

$$F_2 \psi_2 = (f - F_2)(\varphi - \psi_2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 6).$$

und φ bedeutet demnach die Entfernung der zweiten Hauptebene vom zweiten Linsenscheitel. Diese Entfernung möge $h_{,,}$, und die Entfernuug der ersten Hauptebene vom ersten Linsenscheitel $h_{,}$ genannt werden.

Die Gleichung 1) gilt auch für den ersten Hauptpunkt als leuchtenden Punkt, also

$$\frac{F_1}{h_1} + \frac{F_2}{f} = 1$$

woraus man

$$f = \frac{h_1 F_2}{h_1 - F_1}, \; f - F_2 = \frac{F_1 F_2}{h_1 - F_1}, \text{ und}$$

$$f - d = \frac{h_1 F_2 - h_1 d + d F_1}{h_1 - F_1} = -\alpha \text{ findet} \quad . \quad . \quad 7).$$

Analog gibt die Gleichung 2):

$$\varphi - \psi_2 = \frac{\psi_1 \psi_2}{\alpha - \psi_1}$$

Ersetzt man die rechte Seite der Gleichung 6) durch die eben gefundenen Werte, so erhält man nach einigen Reductionen

$$o = \alpha (h_1 - F_1) - h_1 \psi_1$$

und nach Einsetzung des Wertes von α

$$o = - \frac{h_1 F_2 - h_1 d + d F_1}{h_1 - F_1} (h_1 - F_1) - h_1 \psi_1 \text{, woraus}$$

$$h_1 = \frac{d F_1}{d - F_2 - \psi_1} \quad \ldots \ldots \ldots \; 8).$$

Setzt man in dem oben gegebenen Ausdruck 7) für α statt h_1 seinen Wert aus 8), so erhält man

$$\alpha = - \frac{d \psi_1}{F_2 + \psi_1} \quad \ldots \ldots \ldots \; 9).$$

Da der zweite Hauptpunkt das Bild des ersten ist, so erhält man $h_{,,}$ aus der Gleichung 2), wenn man in derselben α durch seinen Wert aus 9), und φ durch $h_{,,}$ ersetzt. Man findet:

$$h_{,,} = \frac{d \psi_2}{d - F_2 - \psi_1} \quad \ldots \ldots \ldots \; 10).$$

Rechnet man die Hauptbrennweiten von den respectiven Hauptpunkten, so hat man von den in den Formeln 3), 4) angegebenen Werten noch $h_{,}$, resp. $h_{,,}$ zu subtrahiren, und bekommt folgende sehr wichtige Formeln für die Hauptbrennweiten der Linse von den Hauptpunkten gerechnet:

$$F_1' = \frac{F_1 \psi_1}{F_2 + \psi_1 - d} \quad \ldots \ldots \; 11).$$

$$F_2' = \frac{F_2 \psi_2}{F_2 + \psi_1 - d} \quad \ldots \ldots \; 12).$$

Ersetzt man die Werte F_1, F_2 durch ihre (in den elementaren Lehrbüchern der Physik abgeleiteten) Werte

$$F_1 = \frac{r}{n - 1} \qquad \psi_1 = \frac{r'}{n' - 1}$$

$$F_2 = n F_1 \qquad \psi_2 = n' \psi_1$$

worin r und r' die Krümmungsradien, n den Brechungsexponenten aus Luft in die Linsensubstanz, n' jenen aus der

Linsensubstanz in das hinter der Linse befindliche Medium bedeutet, so erhält man

$$\left.\begin{aligned} F_1' &= \frac{r r'}{r'(n-1) + n(n'-1)r - (n-1)(n'-1)d} \\ F'_2 &= n n' F_1' \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} \quad 13).$$

$$\left.\begin{aligned} h_, &= \frac{d(n'-1)r}{(n-1)(n'-1)d - n(n'-1)r - (n-1)r'} \\ h_{,,} &= \frac{d(n-1)n'r'}{(n-1)(n'-1)d - n(n'-1)r - (n-1)r'} \end{aligned}\right\} 14).$$

13. Durch Specialisirung erhält man andere bekannte Formeln. Ist z. B. vor und hinter der Linse dasselbe Medium, so ist $nn' = 1$ zu setzen, und man hat

$$F_1' = \frac{n r r'}{(n-1)\left[(r'-r)n + (n-1)d\right]} = F_2' \quad . \quad . \quad 15).$$

$$\left.\begin{aligned} h_, &= \frac{d r}{n(r'-r) + (n-1)d} \\ h_{,,} &= -\frac{d r'}{n(r'-r) + (n-1)d} \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad 16).$$

Kann man hiebei die Linsendicke vernachlässigen ($d=o$), so erhält man die bekannte elementare Formel

$$F_1' = \frac{r r'}{(n-1)(r'-r)} = F_2' \quad . \quad . \quad . \quad 17).$$

$$h_1 = h_{11} = o.$$

Die letzte Gleichung bedeutet, dass man bei sehr dünnen Linsen beide Hauptpunkte in einen zusammenziehen und in einen Scheitel, oder (was manchmal genauer ist) in die Mitte der Linse versetzen kann.

Die grosse Tragweite der mitgetheilten Formeln 8), 10), 11) und 12) besteht nur darin, d a s s s i e d i e L a g e d e r H a u p t p u n k t e u n d B r e n n p u n k t e eines aus beliebig vielen brechenden, sphärisch begrenzten und centrirten Flächen bestehenden optischen Systems zu berechnen gestatten. Denn es lässt sich durch eine der eben durchgeführten ganz analoge Rechnung der Ort der Hauptpunkte, sowie der Brenn-

weiten dieses Systems bestimmen. Die schliesslichen Resultate haben ganz dieselbe Form, wie die eben gewonnenen Formeln.

14. Die unter 5—17 für Linsen gegebenen Formeln gelten ganz allgemein für alle Linsenarten. Zwar liegt der Ableitung eine concav-convexe Linse zu Grunde, welche den ankommenden Strahlen ihre convexe Seite zukehrt; aber auf Grund des § 7 über das zu wählende Vorzeichen des Krümmungsradius Gesagten kann man sofort aus der allgemeinen die in einem speciellen Fall nöthige Formel hinschreiben, wenn man ausserdem bemerkt, dass für planconvexe und planconcave Linsen der Krümmungsradius der ebenen Fläche gleich ∞ zu setzen ist.

Zu wichtigen Ergebnissen führt die Discussion der für die Brennweiten gegebenen Formeln, die wir an der einfachsten (unter 17 verzeichneten) vornehmen wollen, nachdem wir ihr früher durch Division beider Seiten der Gleichung in 1, folgende Gestalt gegeben haben:

$$\frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r'}\right)$$

Da beide Brennweiten gleich sind, so ist hier nicht nöthig, zwischen F_1 und F_2 zu unterscheiden.

Für eine biconvexe Linse ist r' negativ, daher F positiv.

Für eine planconvexe ist entweder $r = \infty$, und r' negativ, oder r positiv, $r' = \infty$, je nachdem die Linse ihre plane, oder convexe Seite den ankommenden Strahlen entgegensetzt

In beiden Fällen wird F positiv sein.

Für eine concav-convexe Linse, die den Strahlen ihre convexe Seite zukehrt, ist r und r' positiv und dabei $r' > r$; kehrt sie aber den Strahlen ihre concave Seite zu, so ist r und r' negativ, und $r > r'$. In beiden Fällen ist F positiv.

Die drei erwähnten Linsen haben also p o s i t i v e Brennweiten.

Nun ist, der angenommenen Bezeichnung gemäss, die erste Brennweite positiv, wenn der erste Brennpunkt auf der den ankommenden Strahlen zugekehrten Seite der Linse, oder kürzer: vor der Linse liegt. Die zweite Brennweite ist positiv, wenn der zweite Brennpunkt auf der entgegengesetzten Seite der Linse, d. h. hinter derselben liegt. Man kann also sagen: bei biconvexen, planconvexen und concavconvexen Linsen liegt der erste Brennpunkt vor, der zweite hinter der Linse.

Für eine biconcave Linse ist r immer negativ, r' positiv, also F negativ. Für eine planconcave Linse ist entweder $r = \infty$, r' positiv — oder r negativ und $r' = \infty$. In beiden Fällen ist F negativ.

Für eine convex-concave Linse, deren erste Fläche convex ist, ist r und r' positiv, und $r > r'$, daher F negativ. Ist aber die erste Fläche concav, so ist r und r' negativ, aber $r' > r$, daher F ebenfalls negativ.

Die drei zuletzt erwähnten Linsen haben also negative Brennweiten, und dem oben gesagten gemäss liegt bei ihnen der zweite Brennpunkt vor, der erste hinter der Linse.

Die drei ersten Linsen nennt man Sammel- oder Collectivlinsen, die drei letzteren Zerstreuungs- oder Dispansivlinsen.

Da es nur in den seltensten Fällen nöthig ist, auf die Linsendicke Rücksicht zu nehmen, so unterlassen wir die Discussion der für die Lage der Hauptpunkte gegebenen Formeln; es genüge die Resultate graphisch auf der Fig. 11 zur Anschauung zu bringen.

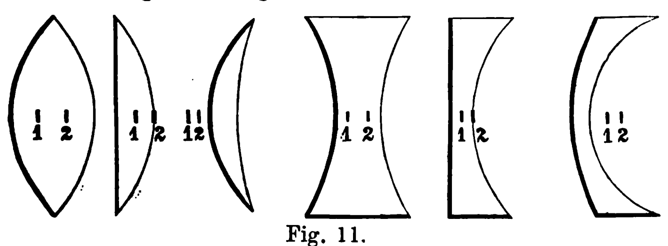


Fig. 11.

1 und 2 ist der erste, resp. zweite Hauptpunkt.

IX. Construction der durch die Linsen entworfenen Bilder.

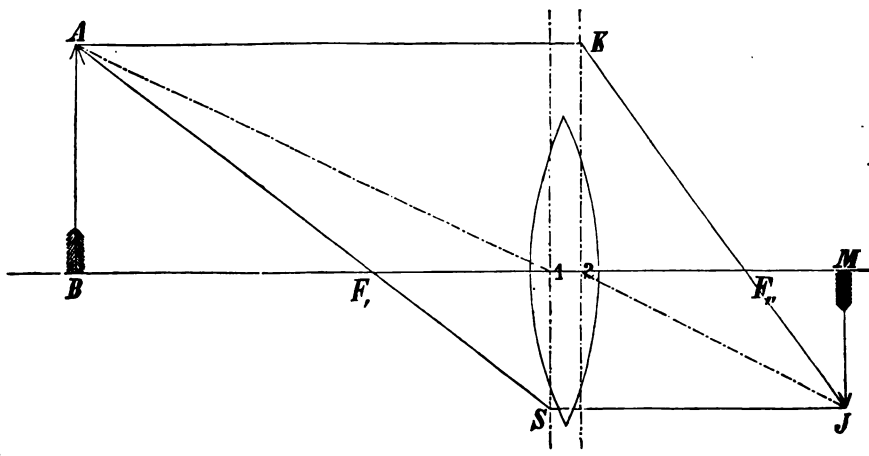


Fig. 12.

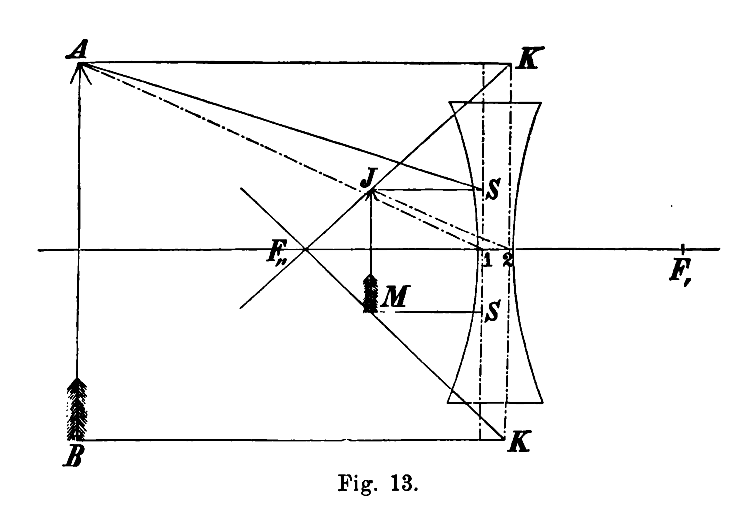


Fig. 13.

15. $F_{,}$ und $F_{,,}$ sind die beiden Brennpunkte, 1 2 die beiden Hauptpunkte der Linse; *AB* der Gegenstand, *MJ* sein Bild. Vor und hinter der Linse ist Luft.

Um das Bild JM zu construiren, verfahren wir, wie folgt:

1. Wir ziehen den **axenparallelen Strahl** AK bis zur zweiten Hauptebene. Nach der Brechung geht dieser Strahl durch $F_{\prime\prime}$ (Fig. 12).

2. Als zweiten ziehen wir den Strahl, **der durch** $F_{\prime}$ **geht** (Fig. 12), oder hinreichend verlängert durch $F_{\prime}$ gehen würde (Fig. 13), bis zur ersten Hauptebene, bis S. Durch Brechung wird dieser Strahl axenparallel und schneidet den ersten in J (Fig. 12). Bei der Concavlinse (Fig. 13) ist es die Verlängerung SJ nach rückwärts, welche die Verlängerung des ersten Strahles in J zu schneiden scheint.

Dem Gesagten gemäss ist das Bild MJ, welches die Sammellinse entwirft, **reell**, und könnte z. B. auf einer lichtempfindlichen Platte, die in M aufgestellt, photographirt werden; hingegen ist das Bild, welches die Concavlinse entwirft, **virtuel**, es existirt nicht in der Wirklichkeit, und ist nur für jenes Auge sichtbar, welches hinter der Linse hinreichend nahe steht, um die divergirend ausfahrenden Strahlen aufzufangen.

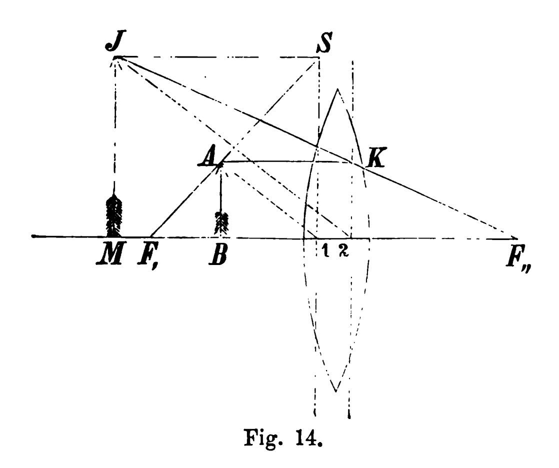


Fig. 14.

Fig. 14 zeigt die Construction des virtuellen Bildes, welches eine Sammellinse von einem innerhalb ihrer Brenn-

weite gelegenen Gegenstand entwirft; das Bild ist aufrecht und vergrössert.

Hierauf beruht die Anwendung einer Sammellinse als Loupe oder einfaches Mikroskop.

16. Aus den ähnlichen Dreiecken $K2F_{,,}$ und $MF_{,,}J$ (Fig. 12) findet man das Verhältniss der Lineardimensionen des Objectes O (in der Fig. 12 AB), und seines, von der Linse entworfenen Bildes B (in der Figur MJ), indem man den axenparallelen und den durch den ersten Brennpunkt gehenden Strahl benützt. Das Verhältniss zwischen Object O, und Bild B, ist dann — abgesehen von der entgegengesetzten Lage bezüglich der Axe:

$$\frac{O}{B} = \frac{F_2}{f - F_2} = \frac{F_2 : f}{1 - \frac{F_2}{f}}.$$

Aus der Formel $\frac{F_1}{a} + \frac{F_2}{f} = 1$ folgt aber

$$1 - \frac{F_2}{f} = \frac{F_1}{a}, \text{ mithin}$$

$$\frac{O}{B} = \frac{F_2}{f} \cdot \frac{a}{F_1}$$

Nun ist $F_1 = F_2$, wenn beiderseits gleiche Medien sind, daher

$$O : B = a : f.$$

Diese Proportion zeigt, dass die Dreiecke (Fig. 12) $AB1$ und $MJ2$ ähnlich sind, folglich sind die Winkel $A1B$ und $M2J$ gleich, und die Linien $A1$ und $2J$ parallel. Wir haben also den Satz gewonnen:

Der gegen den ersten Hauptpunkt gerichtete Strahl verlässt die Linse parallel seiner Einfallsrichtung (vorausgesetzt, dass $F_1 = F_2$). Zur Construction des Bildes könnte man also ausser den schon bekannten zwei ausgezeichneten Strahlen, noch den dritten benützen, der gegen den ersten Hauptpunkt gerichtet ist.

Der eben gemachten Bemerkung zufolge kann man zur Construction des Bildes ausser den 2 Strahlen *AK* und *AF*, auch noch den dritten benützen, der gegen den ersten Hauptpunkt gerichtet ist. In den Figuren 12, 13 und 14 ist dieser Strahl (die punktirt gezeichneten Linien *AI* und *2J*) ebenfalls ersichtlich gemacht.

Als zweites Beispiel wählen wir ein aus 2 Sammellinsen bestehendes Sammelsystem. (Fig. 15.)

Die erste Linse, Objectivglas, oder kurz Objectiv genannt, habe die Brennweite $f = 18$ *mm*; die Orte der Brennpunkte seien $f_{,}$ und $f_{,,}$.

Die zweite Linse, das Ocular, habe die Brennweite $\varphi = 16$ *mm*, die Orte der Brennpunkte seien $\varphi_{,}$ und $\varphi_{,,}$.

Die Hauptpunkte der Linsen sind mit 1 und 2 bezeichnet; die Senkrechten in diesen Punkten repräsentiren die Hauptebenen, und die Brennweiten werden dem früher Gesagten gemäss, von den Hauptpunkten gezählt.

Die Entfernung des zweiten Hauptpunktes des Objectivs vom ersten Hauptpunkt des Oculars sei $d = 64$ *mm*, das Object sei *AB*, das Auge hat man sich ganz nahe hinter dem Ocular zu denken.

Um Wiederholungen zu vermeiden, sind die Buchstaben der Figur so gewählt, wie in den vorhergehenden Figuren.

Man erkennt nun leicht, dass *m i* das Bild des Gegenstandes *AB* ist, wie es von dem Objectiv entworfen wird.

Dieses Bild *m i* wird nun zum Object für das Ocular, welches von ihm nochmals ein Bild entwirft, und welches wir zu construiren haben. Man zieht daher:

1. Den axenparallelen Strahl *i k'* bis zur zweiten Hauptebene (bis *k'*), und von da eine Gerade durch den zweiten Brennpunkt $\varphi_{,,}$.

In der Figur ist dieser Strahl nur bis $\varphi_{,,}$ gezeichnet, und *k' J* ist seine Verlängerung nach rückwärts.

2. Den Strahl $i\,\varphi_{,}$ durch den ersten Brennpunkt und verlängert ihn bis zum Durchschnitt mit der ersten Haupt-

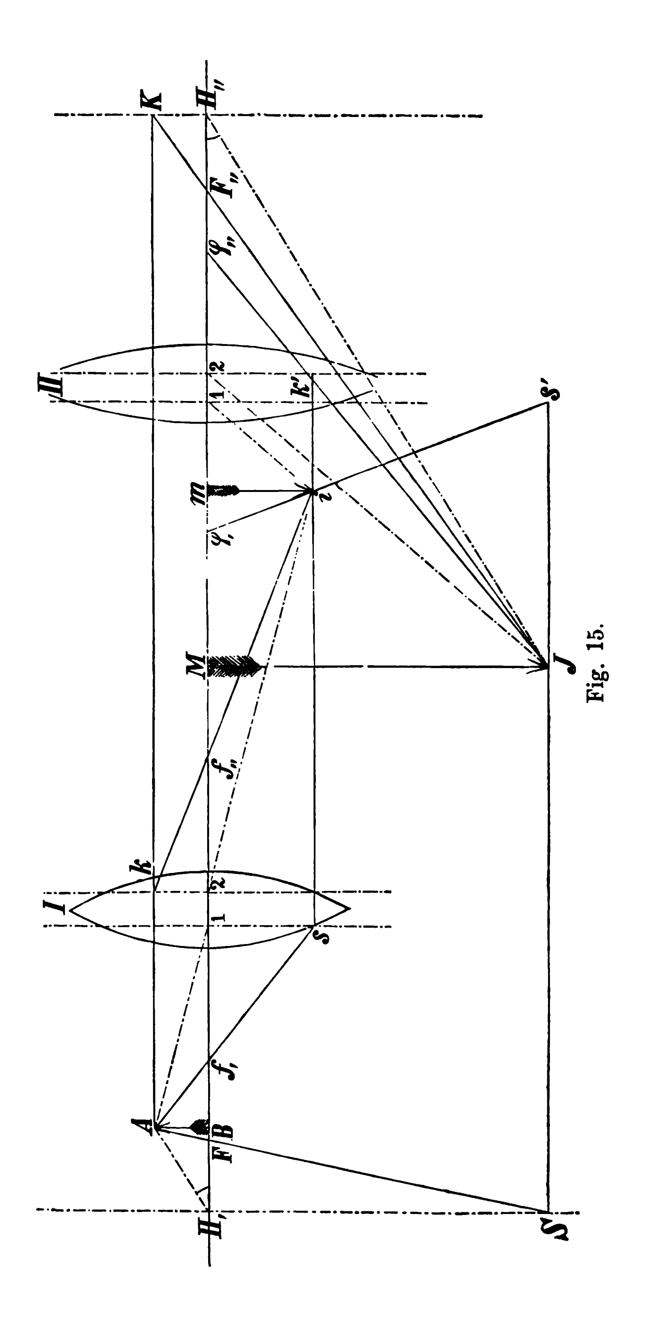


Fig. 15.

ebene in s'. Nach dem Durchgang durch die Linse wird dieser Strahl axenparallel, er geht also von s' weiter (nach rechts) parallel zur Axe. In der Figur ist dieser Theil des Strahles nicht gezeichnet, wohl aber seine Verlängerung nach rückwärts $s'J$, welche die Verlängerung des Strahles k, φ in J schneidet. Dort, in J entsteht also das Bild von i.

3. Oder man kann auch den Strahl i 1 zum ersten Hauptpunkt ziehen, welcher nach der Brechung durch 2 parallel der Einfallsrichtung geht. Die rückwärtige Verlängerung dieses Strahles geht ebenfalls durch J. Fällt man von J die Senkrechte JM auf die Axe, so ist JM das Bild von AB.

Man sieht zugleich, dass JM ein virtuelles Bild ist, denn die Strahlen schneiden sich nach Durchgang durch das Ocular nicht wirklich, sondern nur ihre rückwärtigen Verlängerungen scheinen sich zu schneiden.

Anmerkung. Zum deutlichen Sehen des Bildes ist noch die Bedingung zu erfüllen, dass es in der Entfernung des deutlichen Sehens des betreffenden Auges entstehe. Da aber der Ort des Bildes von der Entfernung beider Linsen abhängt, so muss diese Entfernung regulirbar sein, wie man es an jedem Mikroskop (Fernrohr etc.) sehen kann.

17. Man kann viel schneller zum Ziel gelangen, wenn man die Haupt- und Brennpunkte des aus beiden Linsen bestehenden Sammelsystems berechnet.

Die Entfernung $h_,$ des ersten Hauptpunktes des Systemes vom ersten Hauptpunkt des Objectives und die Entfernung $h_{,,}$ des zweiten Hauptpunktes des Systemes vom zweiten Hauptpunkt des Oculars ist nach den Formeln

$$h_, = -\frac{d\,f}{\varphi + f - d} = 38{\cdot}4\ mm$$

$$h_{,,} = -\frac{d\,\varphi}{\varphi + f - d} = 34{\cdot}1\ mm$$

Weil $h_,$ positiv ist, liegt der gesuchte Hauptpunkt 38·4 *mm* vor dem ersten Hauptpunkt des Objectivs und aus

demselben Grunde liegt der zweite Hauptpunkt 34·1 *mm* hinter dem zweiten Hauptpunkt des Oculars.

Die Orte dieser Punkte sind in der Figur mit $H_,$ und $H_{,,}$ bezeichnet; die in jenen Punkten errichteten Senkrechten stellen die Hauptebenen vor

Zur Bestimmung der Brennweite des Sammelsystems benützen wir die Formel

$$F_1 = F_2 = \frac{\varphi f}{\varphi + f - d} = - 9{\cdot}6 \; mm$$

Weil $F_,$ negativ ist, liegt der erste Brennpunkt hinter dem ersten Hauptpunkte 9·6 *mm* von ihm entfernt, der zweite aus demselben Grunde vor dem zweiten Hauptpunkte in derselben Entfernung.

Jetzt zeichnet man das Bild von AB genau so, wie oben für eine einzige Linse erläutert worden ist. Man zieht also:

1. den axenparallelen Strahl von A bis zur zweiten Hauptebene (bis K); von K die rückwärtige Verlängerung des gebrochenen Strahles durch $F_{,,}$;

2. den Strahl $AF_,$, dessen Verlängerung — und nur diese ist in der Figur gezeichnet — durch den ersten Brennpunkt geht, bis zur ersten Hauptebene bis S; von S eine axenparallele Gerade Ss', welche die Gerade $KF_{,,}$ in J schneidet. Der Schnittpunkt ist das Bild von A;

3. oder man ziehe von A eine Gerade zum ersten Hauptpunkt $H_,$ und von $H_{,,}$ zu dieser eine Parallele. Die letztere geht auch durch J.

18. Endlich geben wir noch ein Beispiel der Bildconstruction für den Fall, dass man die beiden Hauptpunkte der Linsen in einen zusammenzieht, was wegen der sehr geringen Entfernung jener Punkte bei dünnen Linsen jedenfalls gestattet ist und auch gewöhnlich geschieht.

Um Wiederholungen zu vermeiden und die Uebersichtlichkeit zu fördern, geben wir den Gang der drei von uns

„ausgezeichnete“ genannten Strahlen nach der Brechung in einer Convex- und Concavlinse.

I (Fig. 16) zeigt den axenparallelen Strahl X, der nach der Brechung durch $F_{,,}$ geht (und bei einer Concavlinse zu gehen scheint);

II zeigt den durch den ersten Brennpunkt $F_{,}$ ankommenden (oder bei der Concavlinse gegen $F_{,}$ zielenden), Strahl X, der nach der Brechung axenparallel wird;

III der gegen den Mittelpunkt der Linse (wo man sich beide Hauptpunkte vereinigt denkt) gerichtete Strahl X geht ungebrochen hindurch.

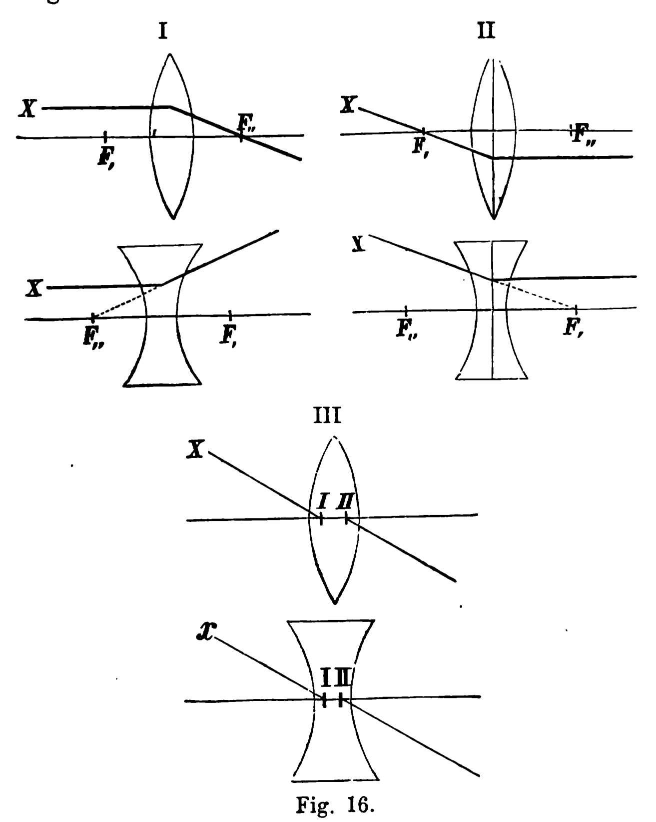


Fig. 16.

Das Objectiv (Fig. 17) sei eine Sammellinse mit der Brennweite $f = 4$ *cm*; das Ocular eine Zerstreuungslinse mit der Brennweite $\varphi = - 2\cdot5$ *cm*; der Mittelpunkt einer jeden Linse sei zugleich ihr doppelt gedachter Hauptpunkt; die Entfernung dieser Hauptpunkte (oder wie man ohne erhebliche Ungenauigkeit sagen kann, die Entfernung beider Gläser) von einander sei $d = 3$ *cm*; $f_,$ und $f_{,,}$ sind die Brennpunkte des Objectivs, φ' φ'' jene des Oculars, F, $F_{,,}$ des combinirten Systemes.

Die Combination wirkt wie ein galiläisches Fernrohr, (Theaterperspective), Steinheil's Glasconus.

Um die Zeichnung nicht durch zu viele Linien undeutlich zu machen, ist die Construction auf drei Figuren vertheilt.

Fig. 17, I zeigt die Construction des Bildes, welches das Objectiv vom Gegenstand AB entwerfen würde, falls es allein vorhanden wäre. Der axenparallele Strahl A 1 schneidet die zweite (mit der ersten zusammenfallende) Hauptebene in 1, und geht nach der Brechung durch $f_{,,}$. Um das Bild des Punktes A zu erhalten, muss man den Weg noch eines Strahles, der von A ausgeht, verfolgen. Man kann entweder den, durch den ersten Brennpunkt $f_,$ einfallenden Strahl A 3, welcher vom Schnittpunkt 3 mit der Hauptebene angefangen axenparallel wird, und die Richtung 3 $a_,$ hat, dazu wählen; oder den gegen den Hauptpunkt gerichteten Strahl A 2, welcher nach dem Durchgang durch die Linse seine frühere Richtung beibehält. Jeder von diesen zwei Strahlen begegnet den ersten Strahl in $a_{,,}$ dort entsteht also das Bild von A, und a' b' ist somit das Bild von AB.

Jetzt betrachten wir a' b' als Gegenstand für das Ocular (Fig. 17, II). Von $a_,$ ziehen wir den axenparallelen Strahl a' b' bis zur Hauptebene, und von da durch den zweiten Brennpunkt $\varphi_{,,}$; hierauf einen Strahl durch den ersten Brennpunkt $\varphi_,$ bis zur Hauptebene, welche von demselben in 4 getroffen wird, von 4 eine axenparallele Gerade, welche

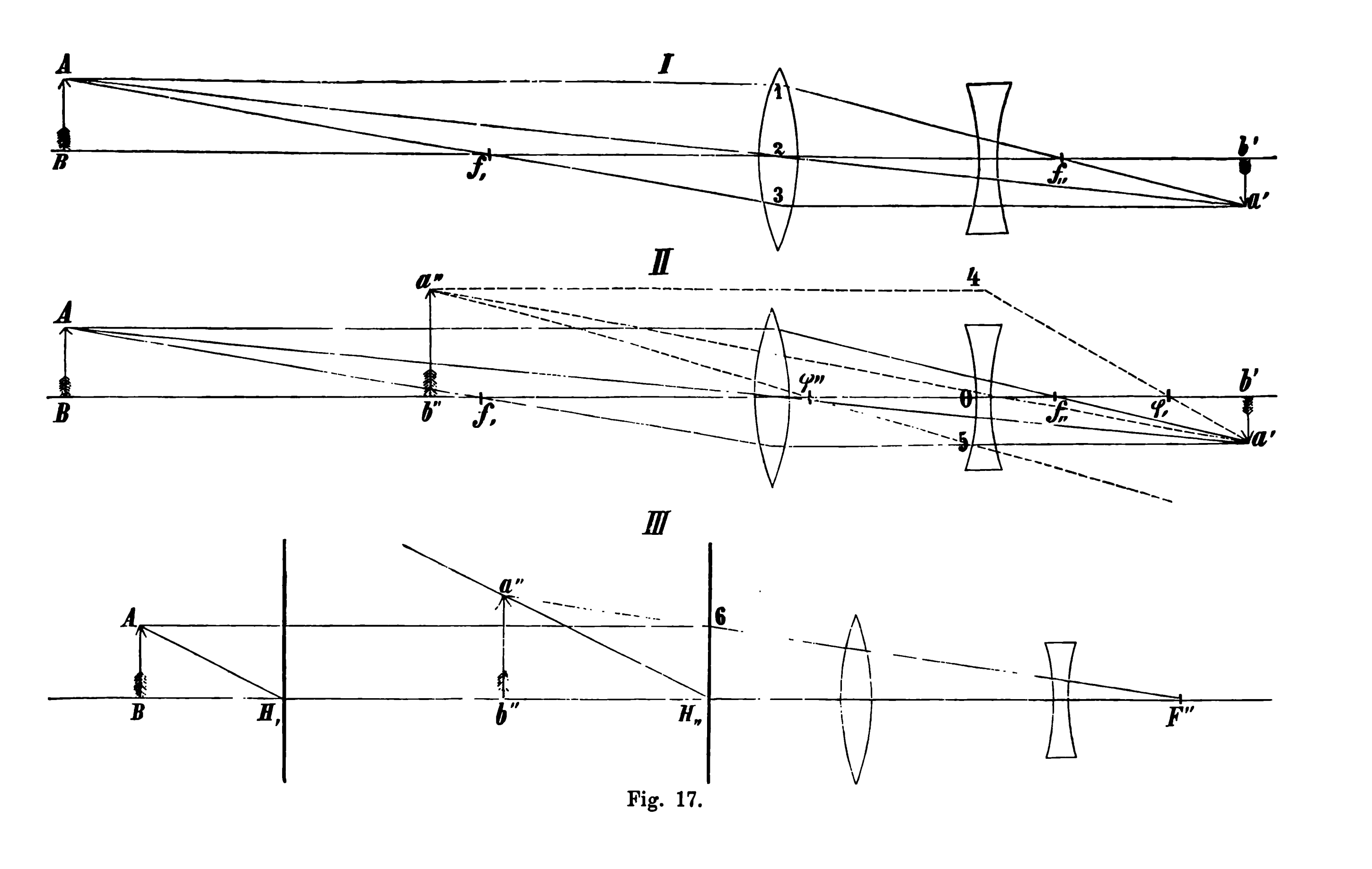


Fig. 17.

die durch 5 und $\varphi_{\prime\prime}$ gezogene in $a_{\prime\prime}$ schneidet. In $a_{\prime\prime}$ liegt das Bild von $a_{\prime}$. (Selbstverständlich hätte man auch als zweiten den Strahl $a_{\prime}\,O$ wählen können, der durch den Hauptpunkt O geht, und nach dem Durchgang durch die Linse seine frühere Richtung beibehält.)

Die Figur III zeigt endlich, wie einfach die Construction des Bildes ist, wenn man die Haupt- und Brennpunkte des zusammengesetzten optischen Systems bestimmt hat. Man hat nämlich

$$h_{\prime} = -\frac{d f}{\varphi + f - d} = -\frac{3.4}{-2{\cdot}5 + 4 - 3} = 8$$

$$h_{\prime\prime} = -\frac{d \varphi}{\varphi + f - d} = -\frac{-3.2{\cdot}5}{-1{\cdot}5} = -5$$

$$F_{\prime} = F_{\prime\prime} = \frac{\varphi f}{\varphi + f - d} = 6\tfrac{2}{3}.$$

Es liegt somit die erste Hauptebene des Systems 8 *cm* v o r der Hauptebene des Objectivs, die zweite Hauptebene 5 *cm* v o r der Hauptebene des Oculars; der erste (in der Figur III nicht ersichtlich gemachte), und der zweite Brennpunkt 5 *cm* v o r, respective hinter der ersten und zweiten Hauptebene.

Zieht man vom Punkte A des Gegenstandes den axenparallelen Strahl bis zur zweiten Hauptebene (bis b) und von da durch $F_{\prime\prime}$; ferner den gegen $H_{\prime}$ zielenden Strahl $AH_{\prime\prime}$ welcher nach der Brechung durch $H_{\prime\prime}$ parallel der Einfallsrichtung geht, so gibt der Schnittpunkt der rückwärtigen Verlängerungen $6\,a_{\prime\prime}$ und $H_{\prime\prime}\,a_{\prime\prime}$ dieser Strahlen, den Ort des virtuellen Bildes des Punktes A.

A n m e r k u n g 1. Wir erachten es als nützlich zu bemerken, dass das Bild $a'\,b'$ welches wir als Object für das Ocular verwertet haben, in der Wirklichkeit gar nicht zu Stande kommt, wie schon daraus erhellt, dass das Ocular die Strahlen, ehe sie sich zu jenem Bilde vereinigen, auffängt und nochmals ablenkt. Im vorliegenden Fall werden die durch das Objectiv convergirend gemachten Strahlen durch

Wirkung des Oculars divergent, und ihre rückwärtigen Verlängerungen sind es, die sich in a'' (resp. b'') schneiden. Das hinter dem Ocular befindliche Auge fängt die divergirenden Strahlen auf, und sieht das virtuelle Bild a'' b''.

X. Knotenpunkte.

19. Unseren Entwickelungen über Linsenbilder lag bis jetzt die beschränkende Annahme zugrunde, dass vor und hinter der Linse dasselbe Medium liegt. Ihren mathematischen Ausdruck findet diese Annahme in der Gleichung $F_{,} = F_{,,}$, welche besagt, dass beide Brennweiten der Linse (oder eines aus beliebig vielen Linsen bestehenden Sammelsystemes) gleich sind.

Daraus ergab sich der höchst einfache Zusammenhang zwischen der Grösse des Objectes und seines Bildes: Object und Bild verhalten sich wie ihre Abstände von den Hauptpunkten. Dieses Gesetz ist nicht mehr richtig, wenn sich vor und hinter der Linse verschiedene Medien befinden. Aber auch dann lassen sich zwei Punkte finden, von der Eigenschaft, dass, wenn man von ihnen die Entfernung des Objectes und seines Bildes rechnet, das Gesetz und sein mathematischer Ausdruck ebenso einfach werden, wie in dem bereits erörterten Fall.

Diese Punkte wurden von Listing entdeckt und Knotenpunkte genannt.

Wir definiren sie wie folgt:

Knotenpunkte sind zwei in der Axe der Linse (oder eines Linsensystems) gelegene Punkte, von denen der zweite das Bild des ersten ist. Ein gegen den ersten Knotenpunkt gerichteter Strahl geht nach der Brechung durch den zweiten und bleibt seiner ursprünglichen Richtung parallel.

Daraus ergibt sich:

1. Wenn vor und hinter der Linse dasselbe Medium ist, fallen die Knotenpunkte mit den Hauptpunkten zusammen.

2. Bei einer einzigen Kugelfläche fallen die Knotenpunkte mit dem Mittelpunkte zusammen.

Zur Bestimmung der Lage beider Knotenpunkte führt die Erwägung, dass:

1. der zweite das Bild des ersten ist. Nennen wir also die Entfernung des ersten Knotenpunktes vom ersten Hauptpunkt $K_{,}$, die des zweiten vom zweiten Hauptpunkt $K_{,,}$, so gilt die Gleichung

$$\frac{F_1}{K_{,}} + \frac{F_2}{K_{,,}} = 1, \text{ woraus}$$

$$K_{,,} = \frac{F_2 K_{,}}{K_{,} - F_{,}} \text{ folgt.}$$

2. Da der durch den ersten Knotenpunkt einfallende Strahl nach der Brechung durch den zweiten parallel der Einfallsrichtung austritt, so besteht zwischen Object *(O)* und Bildgrösse *(B)* die Relation

$$\frac{O}{B} = - \frac{a - K_{,}}{f - K_{,,}}$$

für dasselbe Verhältniss fanden wir früher

$$\frac{O}{B} = - \frac{a - \mathrm{F}_{,}}{F_1};$$

welche beide Ausdrücke die Gleichung

$$\frac{a - K_{,}}{f - K_{,,}} = \frac{a - F_1}{F_1} \text{ liefern.}$$

Substituirt man hier den oben gefundenen Wert von $K_{,,}$ so folgt

$$f - \frac{F_2 K_{,}}{K_{,} - F_{,}} = \frac{F_{,} (a - K_{,})}{a - F_{,}}.$$

Hier sind *a* und *f* conjugirte Weiten, die Gleichung besteht demnach für alle zusammengehörigen Werte von *a* und *f*.

Wählen wir die beiden zusammengehörigen Werte $a = \infty$, $f = F_2$, so ergibt sich

$$F_2 - \frac{F_2 K_,}{K_, - F_,} = F_1, \text{ und hieraus}$$

$$K_, = F_, - F_2.$$

Setzt man diesen Wert von K_1 in den obigen Ausdruck für K_{11} ein, so folgt

$$K_{,,} = F_2 - F_1.$$

Aus den für $K_,$ und $K_{,,}$ gegebenen Werten folgen die beiden ohneweiters evidenten Sätze:

1. Die Entfernung des ersten Knotenpunktes vom ersten Hauptbrennpunkt ist gleich der zweiten Hauptbrennweite; die Entfernung des zweiten Knotenpunktes vom zweiten Brennpunkt ist gleich der ersten Hauptbrennweite.

2. Die Entfernung der Knotenpunkte von einander ist gleich der Entfernung der Hauptpunkte von einander.

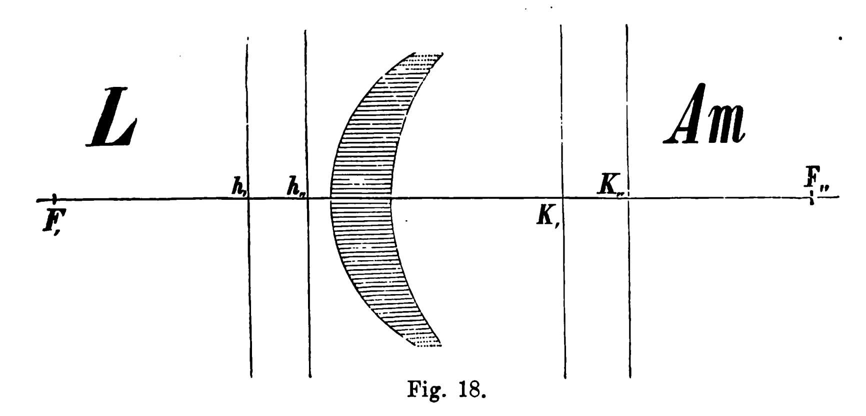


Fig. 18.

Zeichenerklärung:

L Luft,
A m zweites Medium,
die schraffirte Figur stellt eine Linse vor,
$F_,$ $F_{,,}$ beide Brennpunkte,
$h_,$ $h_{,,}$ beide Hauptpunkte,

$K, K_{,,}$ beide Knotenpunkte,
$F, h, = K_{,,} F_{,,}$
$h_{,,} F_{,,} = F, K,$
$h, h_{,,} = K, K_{,,}$

XI. Anwendung der gefundenen Formeln auf das Auge.

20. Das Auge ist ein zusammengesetztes optisches System, und zwar besteht es aus einer brechenden Kugelfläche und einer Linse, die beiderseits von Medien mit nahezu gleichem Brechungsindex umgeben ist.[1] Der Brechungsindex und Radius der Hornhaut, so wie des hinter der Hornhaut befindlichen Humor aquaeus und Glaskörper, sind bekannt, und hiemit sind alle Daten zur Berechnung, die beiden Brennweiten und der anderen Cardinalpunkte der Hornhaut gegeben.

Um dieselben für den zweiten Bestandtheil unseres optischen Systems, die Linse, zu erhalten, müssen durch Messung gefunden werden:

a) der Krümmungsradius beider Linsenflächen,

b) der Brechungsindex, die Linsendicke und

c) die Entfernung der vorderen Linsenfläche vom Hornhaut-Scheitel.

Ist dies bekannt, dann kann man die Cardinalpunkte des zusammengesetzten Systems berechnen.

Auf die höchst scharfsinnigen Methoden, wie man alle diese Grössen zu messen hat, können wir hier nicht eingehen; auch auf die Berechnung müssen wir hier verzichten; wir verweisen auf die diesbezüglichen Stellen in den Handbüchern von Helmholtz, Aubert, u. a.

---

[1]) Das Nähere darüber, namentlich über Abweichungen, siehe Helmholtz, physiologische Optik, II. Aufl., S. 85; Mauthner, die opt. Fehler des Auges, S. 240; Aubert, Physiologische Optik, in Hand. v. Graefe-Saemisch, II., 2 Th. S. 406.

Wird ein sphärisches Glas vor das Auge gehalten, so erhält man ein noch complicirteres Sammelsystem; wir werden die Cardinalpunkte stufenweise von dem einfachsten Apparat — d. i. dem linsenlosen Auge — bis zur Combination des Vollauges mit einer Linse durchgehen.

XII. Das aphakishe Auge.

21. Dieses stellt den denkbar einfachsten optischen Apparat vor, mit einer einzigen brechenden kugeligen Fläche. Die Berechnungen der Cardinalpunkte sind hier sehr leicht, und man braucht nur den Krümmungsradius ρ, sowie den Brechungsindex der Hornhaut n zu kennen. Die Berechnung der Brennweiten wurde bereits in § 8 ausgeführt.

XIII. Die Cardinalpunkte des Auges.

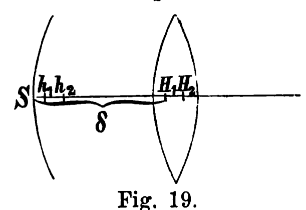


Fig. 19.

22. Zur Berechnung der Cardinalpunkte des Auges brauchen wir folgende Data, welche die directe Messung liefert.[1])

Brechungsindex des Kammerwassers und Glaskörpers	1·3365	*mm*
Totales Brechungsvermögen der Linse	1·4371	„
Krümmungsradius der Hornhaut	7·829	„
Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche	10·—	„
Krümmungsradius der hinteren Linsenfläche	6·—	„
Entfernung des vorderen Linsenscheitels von der Hornhaut	3·6	„
Entfernung des hinteren Linsenscheitels von der Hornhaut	7·2	„

[1]) Helmholtz, physiolog. Optik, II. Aufl., S. 140.

In der beiliegenden Figur bedeuten S den Hornhautscheitel, H_1 und H_2 die Hauptpunkte der Linse, δ Entfernung des ersten Hauptpunktes der Linse vom Hornhautscheitel, welche 5·726 beträgt; h_1 und h_2 die Hauptpunkte des Auges.

Betrachtet man die Hornhaut als erstes brechendes System mit den Brennweiten $f_{,}$ und $f_{,,}$, die Linse als zweites mit den Brennweiten $\varphi_{,}$ und $\varphi_{,,}$, so geben die Formeln 11, 12 § 12 die Brennweiten und die Lage der Hauptpunkte des Vollauges. Hiebei ist zu bemerken, dass beide Brennweiten der Linse gleich sind, und aus den oben gegebenen Daten mittelst der Formel 15 zu berechnen sind. Wir bezeichnen sie mit φ.

Man findet

$F_{,}$ (erste Brennweite des Auges) $= \frac{f_{,}\varphi}{f_{,,}+\varphi-\delta} = 15·598$

$F_{,,}$ (zweite Brennweite des Auges) $= \frac{f_{,,}\varphi}{f_{,,}+\varphi-\delta} = 20·713$

$\mathfrak{H}_{,}$ (Entfernung des ersten Hauptpunktes des Auges von der Hornhaut) . . . . $= -\frac{\delta f_{,}}{f_{,,}+\varphi-\delta} = -1·753$

$\mathfrak{H}_{,,}$ (Entfernung des zweiten Hauptpunktes des Auges vom zweiten Hauptpunkt der Linse) $= -\frac{\delta\varphi}{f_{,,}+\varphi-\delta} = -3·826$

$\varphi = 50·617$.

Also ist der Abstand des zweiten Hauptpunktes des Auges von der Hornhaut 2·106 *mm*, und der Abstand beider Hauptpunkte von einander 0·353 *mm*. Der erste Brennpunkt liegt $F_{,} - d = 13·745$ *mm* vor der Hornhaut.

Da sich für $\mathfrak{H}_1$ ein negatives Resultat ergibt, so liegt der erste Hauptpunkt des Auges hinter der Hornhaut. Ebenso bedeutet das negative Resultat für $H_{,,}$, dass der zweite Hauptpunkt des Auges vor dem zweiten Hauptpunkt H_2 der Linse liegt.

Die Lage der Knotenpunkte ergibt sich aus der Bemerkung, dass die Entfernung des ersten Knoten-

punktes von dem ersten Brennpunkte der zweiten Brennweite und die Entfernung des zweiten Knotenpunktes vom zweiten Brennpunkte der ersten Brennweite gleich ist.

Somit hat man

$K_{,}$ (Abstand des ersten Knotenpunktes von der Hornhaut) = 6·968.

$K_{,,}$ (Abstand des zweiten Knotenpunktes von der Hornhaut = 7·321, und von der Netzhaut (Macula flava) 15·498.

Die Länge (s) des Auges ist gleich der zweiten Brennweite, vermehrt um den Abstand des zweiten Hauptpunktes von der Hornhaut, also

$$s = 20{\cdot}713 + 2{\cdot}106 = 22{\cdot}819\ mm.$$

XIV. Schematisches Auge.

23. Obwohl die oben angegebenen Werte von $F_{,}$, $F_{,,}$, $H_{,}$, $H_{,,}$ nicht für alle Augen genau dieselben Werte haben, acceptiren wir es gleichsam als Modell eines emmetropischen Auges, um bei den theoretischen Berechnungen der zahlreich vorkommenden Abweichungen von der Emmetropie wenigstens annähernde Werte der optischen Constanten eines normalen Auges zu gewinnen. Auch vereinfachen sich dadurch die Betrachtungen wesentlich, denn man kann sich den complicirten optischen Apparat des Auges durch eine einzige im zweiten Hauptpunkt des Auges aufgestellte brechende Fläche mit den Brennweiten $F_{,} = 15{\cdot}498$ und $F_{,,} = 20{\cdot}713$ ersetzt denken.

Der erste, der ein solches schematisches Auge aufgestellt hat, war Listing[1]). Er hat folgende Werte angegeben:

Brechungsvermögen der Luft 1

Brechungsvermögen des Kammerwassers und Glaskörpers $\frac{103}{77}$

Brechungsvermögen der Krystallinse . . . . $\frac{16}{11}$

---

[1]) Handwörterbuch der Physiologie von Wagner, Bd. IV. q. 492.

Hornhautradius	8 *mm*
Radius der vorderen Linsenfläche	10 „
Radius der hinteren Linsenfläche	6 „
Entfernung der vorderen Hornhaut und Linsenfläche	4 „
Dicke der Linse	4 „

Listing berechnete daraus:

1. Der erste Brennpunkt liegt 12·832 *mm* vor der Hornhaut, der zweite Brennpunkt liegt 14·647 *mm* hinter der Hinterfläche der Linse.

2. Der erste Hauptpunkt 2·174, der zweite 2·574 *mm* hinter dem Cornealscheitel.

3. Der erste Knotenpunkt liegt 0·758 *mm*, der zweite 0·36 *mm* vor der Hinterfläche der Linse.

Helmholtz modificirte die Werte Listing's unbedeutend, indem er auf Grund seiner Untersuchungen den Abstand der vorderen Linsenfläche von der Cornea, und die Dicke der Linse etwas kleiner annahm.[1]) Mit Benützung des inzwischen angewachsenen Beobachtungsmateriales nahm er später eine nochmalige Correction vor.[2])

Helmholtz's neuere Berechnungen sind nachstehende;

Vordere Brennweite der Hornhaut	23·266 *mm*
Hintere Brennweite der Hornhaut	31·095 „
Brennweite der Linse	50·617 „
Abstand des vorderen Hauptpunktes der Linse von ihrer Vorderfläche	2·126 „
Abstand des hinteren Hauptpunktes der Linse von der hinteren Fläche	1·276 „
Abstand der beiden Hauptpunkte der Linse von einander	0·198 „
Hintere Brennweite des Auges	20·713 „
Vordere Brennweite des Auges	15·498 „

---

[1]) Zum Vergleich kann die Tabelle im VI. Bd. des Handbuches von Graefe und Saemisch.

[2]) Helmholz, physiol. Optik, II. Auflage, S. 92.

Entfernung des ersten Hauptpunktes des Auges vom Cornealscheitel	1·753 *mm*
Entfernung des zweiten Hauptpunktes vom Cornealscheitel	2·106 „
Entfernung des ersten Knotenpunktes vom Hornhautscheitel	6·968 „
Entfernung des zweiten Knotenpunktes vom Scheitel der Hornhaut	7·321 „
Entfernung des ersten Brennpunktes vom Scheitel der Hornhaut	—13·745 „
Entfernung des zweiten Brennpunktes vom Cornealscheitel, gleichzeitig Länge der Axe	22·819 „

Ein Auge, dessen Cardinalpunkte soeben bestimmt wurden, nennen wir das mittlere, schematische Auge von Helmholtz, und legen es allen unseren weiter unten folgenden Rechnungen zu Grunde.

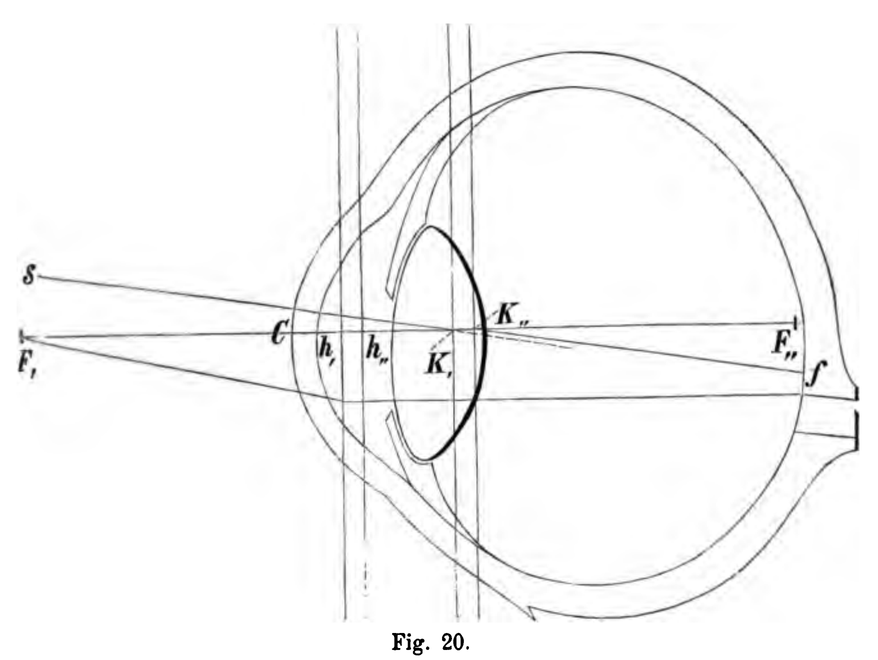


Fig. 20.

Helmholtz's schematisches Auge. Zeichenerklärung: C Cornealscheitel; $CF_{,,}$ Axe des Auges; $F_{,,}$ ist gleichzeitig der Ort des gelben Fleckes; $F_{,}$ erste, $F_{,,}$ zweite Brennweite des Auges; $h_{,}$ erster, $h_{,,}$ zweiter Hauptpunkt; $K_{,}$ erster, $K_{,,}$ zweiter Knotenpunkt; der Strahl, welcher von $F_{,}$ ankommt, läuft im Auge parallel zur Axe; der nach $K_{,}$ zielende Strahl S läuft von $K_{,,}$ an parallel zu seiner ursprünglichen Richtung.

24. Reducirtes Auge.

Da die Entfernung der beiden Hauptpunkte nur 0·353 *mm* beträgt, so vereinfachte schon Listing das Schema seines mittleren Auges noch mehr, indem er beide Hauptpunkte und beide Knotenpunkte in je einen zusammenzog und den ersten 2·3448 *mm*, den zweiten 7·5236 *mm* hinter die Vorderfläche der Hornhaut versetzte.

Diesem Auge aequivalent wäre eine einzige brechende sphärische Fläche, deren Mittelpunkt im Knotenpunkt, und deren Scheitel im Hauptpunkt liegt, deren Radius somit 5·1788 *mm* beträgt.

So entstand Listing's reducirtes Auge.

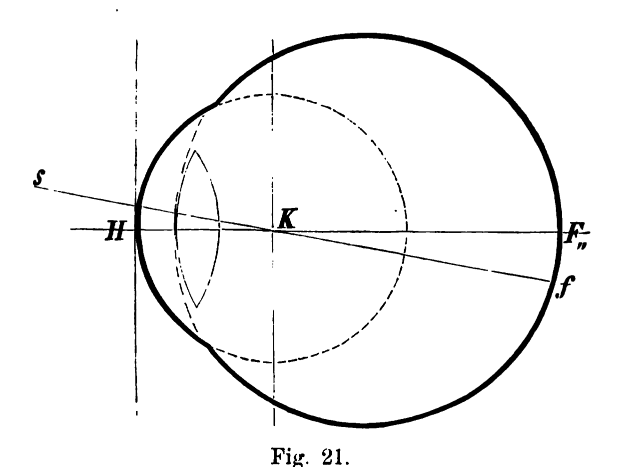


Fig. 21.

Reducirtes Auge. H Hauptpunkt, K Knotenpunkt.

Donders vereinfachte Listing's reducirtes Auge noch mehr, indem er die von Listing angegebenen Werte abrundete. Er setzt daher $F_{,} = 15\,mm$, $F_{,,} = 20\,mm$, versetzte den Hauptpunkt in den Scheitel, den Kotenpunkt in den Krümmungsmittelpunkt, und hat den Krümmungsradius 5 *mm* angenommen.

Das eben beschriebene reducirte Donders'sche Auge (Fig. 21) liegt den Rechnungen Mauthner's und grösstentheils denen Nagel's (im Handbuch von Graefe-Saemisch VI. B) zu Grunde. Ich habe es aber vorgezogen, mit Helmholtz' Zahlen zu rechnen, indem ich — trotz der gegentheiligen Meinung Mauthner's [1]) — die dabei erzielte Genauigkeit doch nicht für ganz unbedeutend halte, anderseits aber das Plus an Zeit und Mühe nicht beträchtlich genug ist — (namentlich wenn man mit Logarithmen rechnet) — um die wissentliche Anwendung ungenauer Daten zu rechtfertigen. Zur Rechtfertigung des Gesagten führe ich an, dass die Berechnung der Axenlänge eines Auges von $M\,\frac{1}{1''}$ (S. Mauthner, S. 430) mit Donders's abgerundeten Zahlen ($\varphi_{,} = 15$, $\varphi_{,,} = 20$) $= 62{\cdot}25\,mm$ ergibt, während dieselbe mit Helmholtz' Zahlen ($\varphi_{,} = 15{\cdot}498$, $\varphi_{,,} = 20{\cdot}713$) eine Länge von $71{\cdot}419\,mm$ haben müsste. Ein Unterschied von $9{\cdot}169\,mm$ ist denn doch der Beachtung wert.

XV. Emmetropie und Ametropie.

Wenn die zweite Brennweite $F_{,,}$ des nicht accomodirenden Auges und die Entfernung des zweiten Hauptpunktes von der Netzhaut σ durch die Gleichung $F_{,,} = \sigma$ verknüpft sind, nennt man (nach Donders) das Auge emmetropisch.

Das Bild eines Gegenstandes, nach welchem das Auge ohne Accommodation sieht, entsteht dann auf der Netzhaut.

---

[1]) Vorlesungen über die opt. Feh. d. Auges, p. 156.

Bei dem von uns supponirten schematischen Auge wird das nur für sehr weit (streng genommen unendlich weit) entfernte Gegenstände der Fall sein, denn nur dann können die ankommenden Strahlen merklich parallel genannt werden.

Betrachten wir aber den für $F_{,,}$ gegebenen Ausdruck, so sehen wir, dass derselbe von den Krümmungen der Hornhaut und der Linsenflächen, sowie von dem Brechungsindex der vom Licht durchsetzten Augenmedien abhängt, somit variabel ist, da jene Grössen erfahrungsmässig nicht in allen Augen dieselben Werte haben.

Die Emmetropie ist also nicht in einer bestimmten Brechkraft der Augenmedien begründet; Augen von verschiedener Länge und verschiedener Brechkraft können emmetropisch sein, wenn nur die beiden eben genannten Factoren so beschaffen sind, dass der Bedingung $F_{,,} = \sigma$ genügt wird.

Ist $F_{,,} < \sigma$, so liegt der Vereinigungspunkt parallel ankommender Strahlen vor der Netzhaut, das Auge ist mit dem Fehler der Myopie behaftet.

Ist $F_{,,} > \sigma$, so ist das Auge hypermetropisch; parallele Strahlen vereinigen sich erst hinter der Netzhaut.

In beiden Fällen ist das Auge ametropisch.

Die bedingenden Ursachen dieser Erscheinung (nämlich der Ungleichheit von $F_{,,}$ und σ) ist das Missverhältnis zwischen der Augenlänge und 1) dem Krümmungsradius der Hornhaut, 2) der Brechkraft der Linse.

Demgemäss unterscheidet man: 1) Axenametropie, bei welcher σ erheblich von dem als Mittelwert für das schematische Auge angegebenen Werte abweicht, während $F_{,,}$ mit diesem Mittelwert nahezu übereinstimmt. 2) Krümmungsametropie, wenn bei nahezu normalem σ, infolge abnormer Krümmung der Hornhaut $F_{,,}$ stark von Mittelwert abweicht. 3) Linsenametropie, wenn nur die Brennweite der Linse vom Mittelwert abweicht.

XVI. Sphärische Gläser als Correctionsmittel der Ametropie.

25. Da der Vereinigungspunkt parallel ankommender Strahlen nicht auf die Netzhaut eines ametropischen Auges fällt, so muss man durch vorgesetzte Glaslinsen den Gang der Strahlen, noch ehe sie das Auge treffen, derart abändern, dass er auf die Netzhaut zu liegen kommt. Bei einem myopischen Auge wird dieser Zweck, durch ein Concavglas erreicht, weil durch ein solches Glas die zweite Brennweite des Auges vergrössert wird. Der zweite Brennpunkt rückt gegen die Netzhaut vor, und es hängt nur von der zweckmässigen Wahl des Glases ab, um ihn auf die Netzhaut zu bringen.

Fig. 22 stellt ein myopisches Auge vor, welchem ein Concavglas vorgesetzt ist. Die parallel ankommenden Strahlen *ss* werden durch das Glas divergirend gemacht, und durch die Augenmedien auf der Netzhaut in N vereinigt. Die Aufgabe dieses Glases ist also, die Strahlen divergirend zu machen, und ihnen eine Richtung zu geben, als kämen sie vom Punkt R, in welchem sich die rückwärtigen Verlängerungen der divergirend gemachten Strahlen schneiden. Wäre in R ein leuchtender Punkt, so würden die Augenmedien von ihm ein Bild genau in N auf der Netzhaut, ohne Hilfe des Glases entwerfen, da ja von ihm ankommende Strahlen schon soweit divergirend sind, als zur Entstehung des Bildes in N nöthig ist. Diesen Punkt nennen wir den Fernpunkt des Auges und bezeichnen seinen Abstand vom ersten Hauptpunkte mit r. Er ist aber zugleich der zweite Brennpunkt des Concavglases (§ 14). Nennt man also den Abstand des Hauptpunktes des Glases [1]) vom ersten Hauptpunkte des Auges d, und die Brennweite des Glases (ohne Rücksicht auf das Zeichen) f, so lehrt der Anblick

[1]) Es möge bemerkt werden, dass wir beide Hauptpunkte des Glases uns in einen zusammengezogen denken und demgemäss nicht von einem ersten und zweiten Hauptpunkt sprechen.

der Figur, dass $r = d + f$ sein muss, wenn das Glas die bestehende Ametropie corrigiren soll.

Ist das Auge hypermetropisch, so liegt der Vereinigungspunkt paralleler Strahlen hinter der Netzhaut, und wenn dieser Uebelstand corrigirt werden soll, so müssen parallele

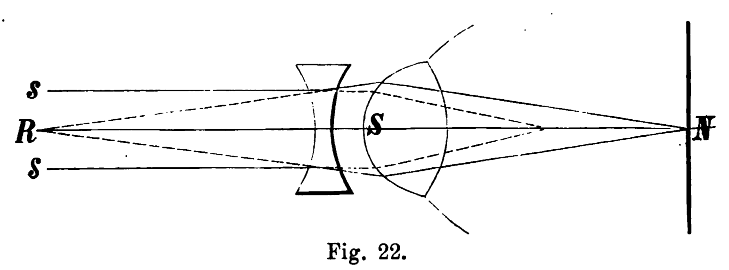


Fig. 22.
S Hornhautscheitel, *ss* parallele Strahlen, *R* Fernpunkt, *N* Netzhaut.

Strahlen, noch ehe sie das Auge treffen, convergent gemacht werden, worauf sie, durch die Augenmedien, nochmals gebrochen und auf der Netzhaut vereinigt werden.

Ein Sammelglas mit der Brennweite f, im Abstande d vom ersten Hauptpunkt des Auges, würde die parallel auffallenden Strahlen in R (Fig. 23) vereinigen; unter Mitwirkung der Augenmedien vereinigen sich aber diese Strahlen auf der Netzhaut in N. Die Augenmedien für sich allein

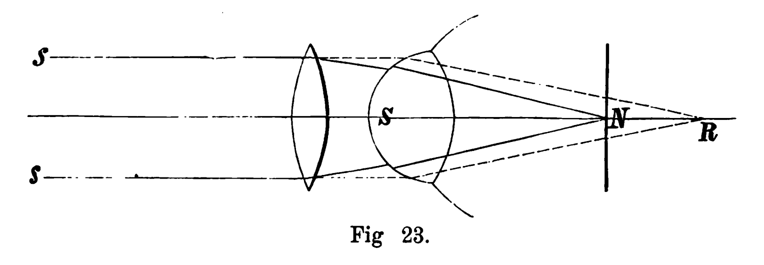


Fig 23.

wirkend, sind also im Stande, nur solche Strahlen auf der Netzhaut zu vereinigen, welche das Auge convergirend (und zwar gegen den Punkt R) treffen. Wir müssen daher den

Punkt R als den Fernpunkt des hypermetropischen Auges, und seine Entfernung r vom ersten Hauptpunkt des Auges, mit Rücksicht auf seine Lage, als negativ bezeichnen.

Beachtet man, dass R zugleich der Brennpunkt des Glases ist, so gilt (ohne Rücksicht auf das Zeichen vor r) die Gleichung:

$$r = f - d.$$

Als allgemeinen Ausdruck für den Fernpunktabstand kann man

$$r = d - f$$

betrachten, mit der Vorsicht, dass man f positiv oder negativ in Rechnung bringt, je nachdem ein Convex- oder Concavglas zur Correction benützt wird.

Unter Ametropiegrad (Am) versteht man den reciproken Wert des Fernpunktabstandes also $Am = \frac{1}{r} = \frac{1}{d-f}$.

„Nur für die höheren Grade von Ametropie ist die Berücksichtigung des Abstandes des Correctionsglases vom Auge geboten, wenn dieser im Verhältnis zum Fernpunktsabstande eine ins Gewicht fallende Grösse darstellt", sagt Nagel (Graefe-Sämisch, Handbuch VI. 4. p, 262).

Hält man sich an diese Vorschrift und setzt $d = o$, so hat man $Am = \frac{1}{r} = \frac{1}{f}$. Der Ametropiegrad ist somit gleich dem reciproken Wert der Brennweite des Correctionsglases; (die leztere ist, wie jetzt allgemein üblich, in Metern ausgedrückt).

Wenn also der Fernpunktsabstand 12 cm ist, so ist der Myopiegrad $\frac{1}{0{\cdot}12}$. Um die unbequemen Brüche zu vermeiden, verwandelt man diese Angabe durch Ausführung der angezeigten Division in 8·3 und sagt M 8·3. Umgekehrt schliesst man, dass M 16 gleichbedeutend ist mit der Angabe $r = 1 : 16 = 0{\cdot}0625\ m = 62{\cdot}5\ mm$. Da aber (unter der Annahme, dass $d = o$ ist) $r = f$ ist, so bedeutet die Angabe

M 16, dass zur Correction dieser Myopie ein Glas von — 62·5 *mm* Brennweite erforderlich war, und zwar in einem Abstande vom Auge, welcher „im Verhältniss zum Fernpunktsabstande nicht ins Gewicht fällt.“

Wie gross man sich diesen Abstand zu denken hat, bleibt dem individuellen Ermessen anheimgestellt; denn es existirt in dieser Beziehung keine Norm, die entweder von einer maassgebenden Autorität befürwortet oder durch die Praxis als „üblich“ bezeichnet werden könnte.

Man muss daher aussprechen, dass der Begriff des „Ametropiegrades“ nicht präcise definirt ist, solange es nicht feststeht, von welchem Ametropiegrade angefangen die Vernachlässigung von d nicht gestattet ist. Da ich mich etwas eingehender mit den „höheren und höchsten“ Myopiegraden befasse, muss ich hier bemerken, dass ich öfters in Verlegenheit war, wie die Angabe etwa *M* 18 zu verstehen ist: hat man den Myopiegrad nach der genauen Formel $1 : r$ oder nach der Näherungsformel $1 : f$ berechnet. Ich werde Gelegenheit haben, bei einer anderen Gelegenheit darauf zurückzukommen.

Die Berechnung der Cardinalpunkte mit Gläsern bewaffneter Augen geschieht nach den allgemeinen für beliebige Sammelsysteme gegebenen Formeln, wobei noch zu bemerken ist, dass die beiden Brennweiten des ersten Bestandtheils (der Glaslinse) gleich sind, da sie beiderseits von Luft umgeben ist.

Bezeichnet f Brennweite der Glaslinse, $\varphi_{,}$ $\varphi_{,,}$ die Brennweiten des nicht accommodirenden Auges, so lauten die Formeln für die Haupt- und Brennpunktsabstände des bewaffneten Auges:

$$h_{,} = -\frac{d f}{\varphi_{,} + f - d}, \quad h_{,,} = -\frac{d \varphi_{,,}}{\varphi_{,} + f - d}.$$

Positive Werte von $h_{,}$ und $h_{,,}$ bedeuten, dass der erste Hauptpunkt vor dem ersten Hauptpunkt der Linse, der zweite hinter dem zweiten Hauptpunkt des Auges liegt.

$$F_, = \frac{\varphi_, f}{\varphi_, + f - d}; \quad F_{,,} = \frac{\varphi_{,,} f}{\varphi_, + f - d}.$$

Positive Werte von $F_,$ und $F_{,,}$ bedeuten, dass der erste Brennpunkt vor dem ersten Hauptpunkt, der zweite Brennpunkt hinter dem zweiten Hauptpunkt liegt.

26. Es kommt selten vor, dass man alle Cardinalpunkte zu bestimmen hat, in den meisten Fällen handelt es sich um die Lage des zweiten Knotenpunktes für den Fall, dass das dem Auge vorgesetzte Glas die Ametropie gerade corrigirt. Dann berechnet man aus der Brennweite des Correctionsglases (f) und seinem Abstand vom ersten Hauptpunkt des Auges (d) die Axenlänge des Auges (s), und hat somit den Ort des zweiten Brennpunktes gefunden, der ja bei voller Correction auf der Netzhaut liegen muss. Der Abstand des zweiten Knotenpunktes vom zweiten Brennpunkt (oder von der Netzhaut) ist, wie im § 19 dargelegt wurde, gleich der ersten Brennweite ($F_,$).

Zwischen der Brennweite des Correctionsglases f, seinem Abstand vom ersten Hauptpunkte des Auges d, und dem Ametropiegrad besteht die Beziehung: $r = d - f$, aus welcher folgt, dass zur Correction einer gewissen Ametropie verschieden starke Gläser benützt werden können, die aber in verschiedenen Abständen aufgestellt werden müssen.

a) Ist f negativ und r positiv (bei Correctionsgläsern der Myopie), so muss d umso kleiner sein, je grösser f, je schwächer also das Glas ist.

b) Ist f positiv und r negativ (bei Correctionsgläsern der Hypermetropie), so muss d umso grösser sein je grösser f, je schwächer also das Glas ist.

XVII. Anwendungen.

27. Wie man die eben vorgetragenen Sätze zur Lösung einiger praktischen Aufgaben anzuwenden hat, mögen folgende Beispiele zeigen:

1. Welchen Hypermetropiegrad müsste ein früher emmetropisches Auge nach Verlust der Linse zeigen, vorausgesetzt, dass der dioptrische Apparat des Auges (wie Hornhautkrümmung u. s. w.) ungeändert geblieben ist?

Da der zweite Brennpunkt des aphakischen Auges 31·095 *mm* hinter der Cornea liegt, so ist diese Frage mit folgender gleichbedeutend:

Nach welchem Punkt hinter der Netzhaut müssen einfallende Strahlen convergiren, um durch die Brechung der Augenmedien auf der Netzhaut (22·819 *mm* hinter Cornea) vereinigt zu werden? Ist r der Abstand des Fernpunktes von der Cornea, so hat man

$$-\frac{\varphi_{\prime}}{r}+\frac{\varphi_{\prime\prime}}{22{\cdot}819}=1$$

und daraus berechnet sich der Grad der aphakischen Hypermetropie $-\frac{1}{r}$ auf 15·58 und $r=-64{\cdot}15$ *mm*.

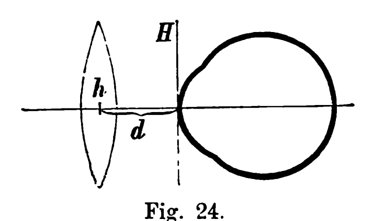


Fig. 24.

2. Welches Glas ist nöthig, um in 12 *mm* Abstand von der Cornea diese Hypermetropie zu corrigiren?

Wir haben zur Bestimmung der Brennweite des fraglichen Glases $f=d-r=12+64{\cdot}15=76{\cdot}15$; also ist seine Brechkraft $1000:76{\cdot}15=13{\cdot}13$ *D*. —

3. Welche Lage haben die Cardinalpunkte eines myopischen Auges, welches ein Glas von -16 *D* in 12 *mm* Abstand von der Cornea zur Correction braucht?

Die theoretische Brennweite[1]) des Glases ist $f = -62{\cdot}5$, der Abstand d des optischen Mittelpunktes des Glases vom ersten Hauptpunkt des Auges ist 13.753, und somit

$$h_{,} = -\frac{d f}{\varphi_{,} + f - d} = 14{\cdot}148\ mm$$

vom Mittelpunkt des Glases oder 2·148 *mm* hinter der Hornhaut; also wurde $h_{,}$ um 0·395 *mm* gegen die Netzhaut verschoben.

$$h_{,,} = -\frac{d\,\varphi_{,,}}{\varphi_{,} + f - d} = 4{\cdot}688\ mm$$

vom früheren $h_{,,}$, 6·744 *mm* von der Hornhaut; Verschiebung 4·688 *mm* gegen die Netzhaut.

$$F_{,} = \frac{\varphi_{,} f}{\varphi_{,} + f - d} = 15{\cdot}943\ mm$$

von dem neuen $h_{,}$; $F_{,}$ wurde also 0·05 *mm* nach vorn verschoben.

$$F_{,,} = \frac{\varphi_{,,} f}{\varphi_{,} + f - d} = 21{\cdot}308\ mm$$

von dem neuen $h_{,,}$; $F_{,,}$ um 5·283 *mm* gegen die Retina verschoben.

$K_{,} = 21{\cdot}308$ *mm* von neuem $F_{,,}$, also 7·613 hinter Cornea; Verschiebung 0·545 nach hinten (gegen die Netzhaut).

$K_{,,} = 15{\cdot}943$ vom neuen $F_{,,}$, also 12·159 hinter Cornea; Verschiebung 4·838 gegen die Netzhaut.

Das eben berechnete Beispiel zeigt, dass durch Vorsetzen eines sphärischen Glases vor das Auge die Cardinalpunkte eine Verschiebung erleiden; in welchem Sinne diese Verschiebung geschieht (ob gegen die Netzhaut oder von derselben weg), und wie gross ihr Betrag ist, hängt von der

[1]) Leider stimmen die theoretischen, d. h. die der eingeritzten Nummer des Glases entsprechenden Brennweiten nicht immer mit den thatsächlichen, welcher Umstand oft Anlass zu Fehlern bei Berechnungen gibt.

Art des Glases und von seinem Abstand vom ersten Hauptpunkte des Auges ab.

Als Regel kann man sich merken: Ein Convexglas verschiebt unter allen Umständen die zweiten Cardinalpunkte ($H_{\prime\prime}$ $F_{\prime\prime}$ $K_{\prime}$) nach vorn (d. h. von der Netzhaut weg), ein Concavglas nach hinten.

XVIII. Berechnung der Länge des Auges.

28. Dazu wenden wir unsere ofterwähnte „Linsenformel“ an.

Bedenkt man, dass der Fernpunkt R und sein Bild auf der Netzhaut conjugirte Punkte sind, so erhellt sofort,

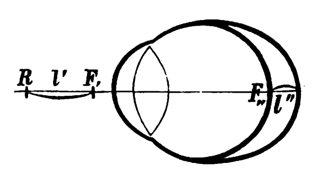


Fig. 25.

dass die Bildweite des Fernpunktes zugleich die Länge der Axe vom zweiten Hauptpunkt bis zur Retina vorstellt.

Ist daher der Abstand des Fernpunktes vom ersten Hauptpunkte r, das erwähnte Stück der Axe σ, und $\varphi_{\prime}$ $\varphi_{\prime\prime}$ die beiden Brennweiten des Auges, so gilt die Gleichung

$$\frac{\varphi_{\prime}}{r} + \frac{\varphi_{\prime\prime}}{\sigma} = 1, \text{ woraus } \sigma = \frac{r\,\varphi_{\prime\prime}}{r - \varphi_{\prime}} \text{ folgt } \quad . \; . \; . \quad \text{I)}$$

Bequemer ist es, namentlich wenn man viele Berechnungen zu machen hat, die Differenz zwischen der gesuchten, und der als normal angenommenen Axe 22·819 zu suchen.

Bezeichnet $l_{\prime}$ den Abstand des Fernpunktes vom ersten Brennpunkt, $l_{\prime\prime}$ den Abstand seines Bildes vom zweiten Brennpunkt, so ist

$$r = l_{\prime} + \varphi_{\prime}, \text{ und } \sigma = l_{\prime\prime} + \varphi_{\prime\prime}$$

Substituirt man diese Werte in die obige Formel, so erhält man nach einigen leicht zu übersehenden Reductionen

$$l_{\prime\prime} = \frac{\varphi_{\prime}\,\varphi_{\prime\prime}}{l_{\prime}} = \frac{\varphi_{\prime}\,\varphi_{\prime\prime}}{r - \varphi_{\prime}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad \text{II)}$$

Vermehrt man σ um den Abstand des zweiten Hauptpunktes von dem Hornhautscheitel, so hat man die Axe

$$s = \sigma + 2{\cdot}106$$

und nach der zweiten (II) Formel:

$$s = 22{\cdot}819 + l_{\prime\prime}.$$

Beispiel 1. Wenn bei reiner Axenmyopie der Fernpunkt 60 *mm* vor der Hornhaut liegt, wie lang ist das Auge?

Da der Hornhautscheitel 1·753 vom ersten Hauptpunkt absteht, so ist $r = 61{\cdot}753$

$$l_{\prime\prime} = \frac{\varphi_{\prime}\,\varphi_{\prime\prime}}{r - \varphi_{\prime}} = \frac{15{\cdot}498 . 20{\cdot}713}{46{\cdot}255}$$

log 15·498.20·713	2·50652
log 46·255	1·66516
log $l_{\prime\prime}$	0·84136

$$l_{\prime\prime} = 6{\cdot}940$$
$$22{\cdot}819$$
$$s = 29{\cdot}759$$

$$\sigma = \frac{r\;\varphi_{\prime\prime}}{r - \varphi_{\prime}} = \frac{61{\cdot}753 . 20{\cdot}713}{46{\cdot}255}$$

log 61·753	1·79066
log 20·713	1·31624
	3·10690
log 46·255	1·66516
log σ	1·44174

$$\sigma = 27{\cdot}653$$
$$2{\cdot}106$$
$$s = 29{\cdot}759$$

Ersetzt man r durch $d - f$, so kann man zur Berechnung von σ auch folgende mit der oben gegebenen identische Formel anwenden.

$$\sigma = \frac{\varphi'' (d-f)}{d-f-\varphi_1}.$$

Beispiel 2. Zur Correction einer Hypermetropie braucht man ein Glas von 4 *D*, im Abstande 12 *mm* vom Auge; wie lang ist die Axe jenes Auges?

Es ist $f = 250$ *mm*, $d = 13{\cdot}753$, $r = d - f = -236{\cdot}247$, daher

$$l'' = \frac{\varphi'' \varphi''}{r - \varphi'} = -\frac{15{\cdot}498\ .\ 20{\cdot}713}{251{\cdot}745}$$

$log\ \varphi' \varphi''$	2·50651
$log\ 251{\cdot}745$	2·40096
$log\ l''$	0·10555
$l'' = -$	1·275
	22·819
$s =$	21·544

oder

$$\sigma = \frac{r \varphi''}{r - \varphi'} = \frac{236{\cdot}247\ .\ 20{\cdot}713}{251{\cdot}745}$$

$log\ 236{\cdot}247$	2·37337
$log\ \ 20{\cdot}713$	1·31624
	3·68961
$log\ 251{\cdot}745$	2·40096
$log\ \sigma$	1·28865
σ	19·438
	2·106
$s =$	21·544

XIX. Bildgrösse im unbewaffneten Auge.

29. Der oben gefundene Ausdruck für das Verhältniss der linearen Dimensionen des Objectes und seines von einer Linse entworfenen Bildes lässt sich, wie eine einfache Betrachtung zeigt, unmittelbar auch auf zusammengesetzte Systeme anwenden. Zur Anwendung auf das Auge wäre die Formel: Bild: Object $= F_1 : (a - F_1)$ bequem.

Denkt man sich ein Auge, welches vom schematischen nicht bedeutend abweicht, und den Gegenstand in einer solchen Entfernung a, dass man die Accommodation als ruhend annehmen kann (etwa $a = 6$ bis 10 m), so hat man für F, den Wert 15·498 einzusetzen.

30. Sehr einfach gestaltet sich die Formel, wenn man die Abstände von den Knotenpunkten zählt.

Hiebei gestatten wir uns die Vereinfachung, nur einen Knotenpunkt anzunehmen, welcher 7 mm hinter der Cornea liegt.

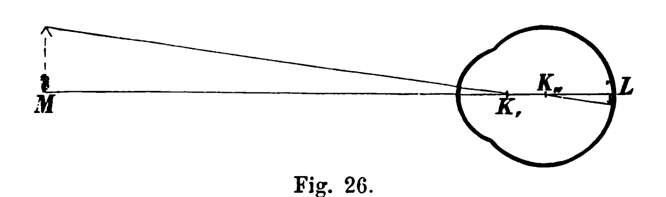


Fig. 26.

Setzt man $MK_{,} = d$, $K_{,,}L = e$, die Länge des in M aufgestellten Gegenstandes O, die seines in L auf der Netzhaut entworfenen Bildes B, so hat man

$$O : B = d : e \text{ und } B = \frac{e}{d} O.$$

Die Betrachtung dieses Ausdruckes führt zum Schluss, dass bei constantem d die Bildgrösse von e abhängt, und grösser ist, je grösser e ist. Nun bedeutet e den Abstand des zweiten Knotenpunktes vor der Netzhaut, und dieser Abstand hängt wieder von der Länge des Auges ab. Die Netzhautbilder in langen (emmetropischen) Augen mit schwachem brechenden Apparat sind also grösser als jene in kurzen mit starkem brechenden Apparat.

Von der Bildgrösse hängt aber die Sehschärfe des Auges ab, denn das Sehen muss umso deutlicher sein, je mehr lichtempfindliche Elemente der Netzhaut von dem Bilde des betrachtenden Gegenstandes bedeckt werden. Wenn aber auch die Bildgrösse nicht das einzige für die Sehschärfe

maassgebende Element ist, so bleibt es doch immer das einzige, welches scharf präcisirt werden kann, weil es der Rechnung zugänglich ist.

31. Beispiel. Ein flächenhaftes Object stehe in der Entfernung $a = 10\ m$ vom ersten Hauptpunkt des Auges ab, wie verhalten sich seine Dimensionen zu denen des Bildes im Auge?

Nach § 29 berechnet hat man $O : B = 9984{\cdot}502 : 15{\cdot}498$ und daraus $O = 644{\cdot}24 . B$.

Nach § 30 erhält man $O : B = 10005 : 15{\cdot}198$, daraus $O = 645{\cdot}56\ B$.

Das Bild ist also nahezu 645 mal verkleinert.

32. Die Bildgrösse in einem accommodirenden Auge ist verschieden von der in einem nicht accommodirenden, denn die Cardinalpunkte erleiden durch Accommodation eine Verschiebung.

Nennen wir die Brennweiten des auf den Abstand r (vom ersten Hauptpunkt gezählt) accommodirenden Auges $\varphi_,'$ und $\varphi_,''$ die Brennweiten des nicht accommodirenden $\varphi_,$ und $\varphi_{,,}$ so muss

$$\frac{\varphi_,'}{r} + \frac{\varphi_{,,}'}{\varphi''} = 1$$

sein, denn dieses Auge muss die Forderung erfüllen, dass r und $\varphi_{,,}$ conjugirte Bildweiten sein sollen. Berücksichtigt man, dass $\varphi_{,,}' = n\,\varphi_,'$ ist, so findet man aus dieser Gleichung

$$\varphi_,' = \frac{r\,\varphi_{,,}}{n\,r + \varphi_{,,}} = \frac{r\,\varphi_,}{r + \varphi_,} \text{ und}$$

$$\varphi_{,,}' = \frac{nr\,\varphi_{,,}}{nr + \varphi_{,,}} = \frac{r\,\varphi_{,,}}{r + \varphi_,}.$$

Diese Ausdrücke zeigen, dass die Brennweiten des accommodirenden Auges kleiner sind als die des nicht accommodirenden.

Der zweite Brennpunkt des accomodirenden Auges fällt nicht mehr auf die Netzhaut. Seine Entfernung $l_{,,}$ von der Netzhaut findet man aus der bekannten Formel:

$l_{,,} = \frac{\varphi_{,}' \, \varphi_{,,}'}{l_{,}}$ welche durch Einsetzung der oben gegebenen Werte für $\varphi_{,}'$ und $\varphi_{,,}'$ in

$$l_{,,} = \frac{r^2 \, \varphi_{,} \, \varphi_{,,}}{(r + \varphi_{,})^2} : (r - \frac{r \, \varphi_{,}}{r + \varphi_{,}}) = \frac{\varphi_{,} \, \varphi_{,,}}{r + \varphi_{,}} \text{ übergeht.}$$

Die Entfernung $k_{,,}$ des zweiten Knotenpunktes von der Netzhaut ist jetzt:

$$k_{,,} = \varphi_{,}' + l_{,,} = \frac{\varphi_{,} (r + \varphi_{,,})}{r + \varphi_{,}}.$$

Der zweite Knotenpunkt rückt also nach vorn, die Bildgrösse und mit ihr die Sehschärfe nimmt zu.

Mit dem Abstand des zweiten Knotenpunktes von der Netzhaut ist das zur Berechnung der Bildgrösse nöthige Element gegeben; wir unterlassen es aber, diese Berechnung an einem Beispiel durchzuführen, da wir weiter unten niemals von der absoluten Grösse des Netzhautbildes Gebrauch machen werden.

33. Von der Bildgrösse in einem ametropischen Auge kann insofern keine Rede sein, als die Bilder nicht auf der Netzhaut, sondern vor oder hinter derselben zustande kommen, und die Netzhaut erhält nur Zerstreuungsbilder, welche das deutliche Sehen beeinträchtigen. Leider ist uns nicht bekannt, bei welcher Grösse der Zerstreuungskreise das deutliche Sehen distincter Punkte definitiv aufhört, und ob diese Grösse für alle Augen constant ist, oder individuellen Schwankungen unterliegt.

Ein deutliches Bild erhält man nur dann, wenn der betrachtete Gegenstand im Fernpunktsabstande sich befindet, was nur bei einem myopischen Auge der Fall sein kann. Da die Cardinalpunkte eines solchen Auges, dessen Ametropie lediglich durch Axenänderung bedingt ist, dieselbe Lage wie in einem schematischen Auge haben, so braucht man nur diese Aenderung zu kennen, um den Abstand des zweiten Knotenpunktes von der Netzhaut und damit auch die Bild-

grösse zu finden. Dieser Abstand $K_{,,}$ setzt sich zusammen aus der ersten Brennweite des Auges $\varphi_{,}$ und der Axenänderung $l_{,,}$, ist somit

$$K_{,,} = \varphi_{,} + l_{,,} = \varphi_{,} + \frac{\varphi_{,} \varphi''}{r - \varphi_{,}} = \frac{\varphi_{,} (r - \varphi_{,} + \varphi_{,,})}{r - \varphi_{1}}$$

Nennt man σ den Abstand des zweiten Hauptpunktes von der Netzhaut und beachtet, dass r und σ conjungirte Bildweiten sind, so ergibt sich

$$\frac{\sigma}{r} = \frac{\varphi_{,,}}{r - \varphi_{,}}, \text{ somit } l_{,,} = \frac{\varphi_{,} \sigma}{r} \text{ und daher}$$

$$K_{,,} = \frac{\varphi_{,} (r + \sigma)}{r}.$$

Ist endlich s die Axenlänge des Auges, so bekommt man $K_{,,}$ auch sehr leicht aus der Formel

$$K_{,,} = s - 7 \cdot 321$$

weil der Abstand des zweiten Knotenpunktes von der Hornhaut 7·321 *mm* beträgt.

XX. Bildgrösse im corrigirten Auge.

34. Der Abstand des zweiten Knotenpunktes von der Netzhaut ist der ersten Brennweite F_1 des corrigirten Auges gleich, für welche wir oben den Ausdruck mitgetheilt haben. Weil aber $r = d - f$ ist, so kann man diesen Ausdruck auch so schreiben $F_{,} = \frac{\varphi_{,} f}{\varphi_{,} - r}$. Da nun für ein bestimmtes Auge der Nenner und $\varphi_{,}$ im Zähler constant ist, so schliessen wir, dass der Knotenpunktabstand von der Netzhaut und somit auch die Bildgrösse der Brennweite des Correctionsglases pıoportional ist.

Mit Rücksicht auf § 26 kann man also sagen: Convexgläser vergrössern, Concavgläser verkleinern umso mehr, je weiter sie vom Auge abstehen.

XXI. Bildgrösse im aphakischen Auge.

35. Die Netzhaut aphakischer nicht corrigirter Augen erhält im allgemeinen nur Zerstreuungsbilder, denn nur sehr ausnahmsweise wird die Krümmung der Hornhaut zur Länge des Auges in einer solchen Beziehung stehen, dass von einem in einer bestimmten Entfernung aufgestellten Gegenstande ein Bild gerade auf der Netzhaut entworfen wird. (Vgl. § 8.) Das aphakische Auge hat nur einen Knotenpunkt, der mit dem Krümmungsmittelpunkte der Hornhaut, und einen Hauptpunkt, der mit dem Scheitel der Hornhaut zusammenfällt.

Ist also die Länge der Augenaxe s und der Krümmungsradius der Hornhaut ρ, so ist diese Entfernung $s-\rho$.

Wird aber ein Glas von der Brennweite f dem aphakischen Auge vorgesetzt, so werden die beiden Knotenpunkte wieder getrennt und verschoben. Ist f die Brennweite des Correctionsglases der aphakischen Ametropie, so findet man die erste Brennweite des corrigirten Auges (zugleich Abstand des zweiten Knotenpunktes von der Netzhaut) aus der allgemein für corrigirte Augen giltigen Formel im § 25, wenn wenn man darin die beiden Brennweiten des Auges $\varphi_,$ und $\varphi_{,,}$ durch die für das apakische Auge geltenden Werte 23·266 und 31·095 ersetzt.

Um dieses anzudeuten, schreiben wir $\psi_,$ und $\psi_{,,}$ statt $\varphi_,$ und $\varphi_{,,}$ und haben somit:

$$F_1 \left(\text{Aph. corr.}\right) = \frac{\psi_, f}{\psi_, + f - d}$$

XXII. Bildgrösse und Sehschärfe.

36. Wir haben schon erwähnt, dass wir die absolute Bildgrösse zu nichts brauchen können. Umso wichtiger ist die Vergleichung der Bilder, welche das Auge in seinen

verschiedenen Zuständen (accommodirend, corrigirt, aphakisch...) von demselben Gegenstand entwirft.

37. Zu dem Zwecke vergleichen wir die Knotenpunkt-Netzhautabstände des Auges in seinen verschiedenen Zuständen. Die Berechtigung dazu lässt sich durch die Betrachtung der Figur 27 begründen. Es sei AB ein weit entfernter Gegenstand (6—10 *m*), $K_,$ und $K_{,,}$ die beiden Knotenpunkte des nicht accommodirenden Auges, $K_1{}'$ $K_2{}'$ die beiden durch ein vorgesetztes Glas dislocirten Knotenpunkte. Zieht man die Linien $K_2 a \parallel AK_1$ und $K_2 b \parallel BK_1$, so ist ab das Bild des Gegenstandes AB. Nach demselben Verfahren erhält man $a'b'$ als Bild desselben Gegenstandes im corri-

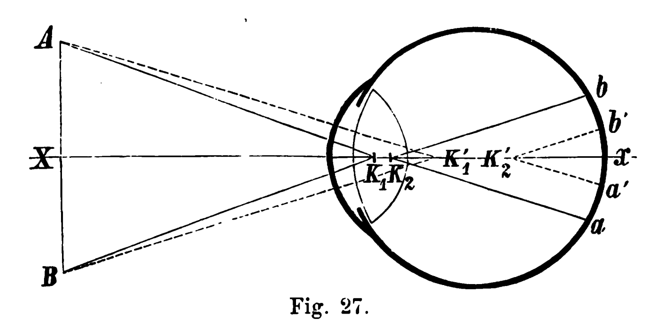


Fig. 27.

girten Auge. Bei der Kleinheit der Bilder wird es gestattet sein, ab und $a'b'$ als gerade Linie zu betrachten und demgemäss zu schreiben: $AB : ab = XK_1 : K_2 x$ und ebenso $a'b' : AB = K_2{}'x : XK_1{}'$. Aus beiden Proportionen folgt endlich $a'b' : ab = XK_1 \,.\, K_2{}'x : K_2 x \,.\, XK_1{}'$ und

$$a'b' = \frac{K_2{}'x}{K_2 x} \,.\, \frac{XK_1}{XK_1{}'} \,.\, ab.$$

Nun wird aber, wenn das Glas zwischen dem Auge und seinem vorderen Brennpunkt steht ($d < \varphi_,$), der erste Knotenpunkt nur unbedeutend verschoben, so dass mit grosser Annäherung $XK_1 = XK_1{}'$ gesetzt werden kann. Demnach ist

$$a'b' : ab = K_2{}'x : K_2 x,$$

woraus sich folgende Regel ergibt: Die vom corrigirten und nicht corrigirten Auge entworfenen Bilder desselben Gegenstandes verhalten sich wie die entsprechenden Abstände des zweiten Knotenpunktes von der Netzhaut. Je nachdem $K_2' > K_2$ oder $K_2' < K_2$ ist, nennt man den Quotienten $K_2' : K_2$ Vergrösserungs- oder Verkleinerungszahl des Glases. Wann der eine oder der andere Fall stattfindet, ergibt sich aus der Schlussbemerkung in § 27.

Der reciproke Wert jener Zahl ist der Factor, mit dem die sich bei der Prüfung des corrigirten Auges ergebende Sehschärfe multiplicirt werden muss, um die wahre Sehschärfe zu erhalten.

XXIII. Praktische Übungen im Berechnen der Axenlänge, Lage des zweiten Knotenpunktes und Bildgrösse.

I. Beispiel.

Geheimrath v. Hippel operirte das linke Auge der E. Schütte; es war Myopie 15 D.; Abstand des Correctionsglases vom 1. Hauptpunkt 12 *mm.*

Frage: 1. wie lang ist die Augenaxe?
2. Wie finden wir den Ort des zweiten Knotenpunktes ($K_{,,}$) im nicht corrigirten und corrigirten Vollauge, und im aphakischem Auge?
3. Wie berechnet man die Verkleinerung der Netzhautbilder infolge des Concavglases, — und die Vergrösserung im aphakischen Auge?

z (Correctionsglas) $= -15$ D

f (Brennweite des Correctionsglases) $= -\frac{1000}{15} = -66{\cdot}7$ *mm*

d (Abstand des Correctionsglases vom 1. Hauptp.) $= 12$ *mm.*

$r = d - f = +78{\cdot}7.$

I. Axenlänge.

1. Methode:

$$l_{,,} = \frac{\varphi_{,}\,\varphi_{,,}}{r - \varphi_{,}} = \frac{15{\cdot}498\,.\,20{\cdot}713}{63{\cdot}202} = 5{\cdot}079$$

log 15·498	1·19027
log 20·713	1·31624
log $\varphi_{,}\ \varphi_{,,}$	2·50651
log 63·202	1·80073
log $l_{,,}$	0·70577; $l_{,,} =$ 5·079

22·819 (normale Axe)

s = 27·898 *mm.*

In den Beispielen der Berechnung verschiedener auf ametropische Augen bezüglichen Grössen bezeichnen wir mit $l_{,,}$ die Grösse, um wie viel das Auge länger (bei M.) oder kürzer (Hyperm.) ist, als das als normal angenommene schematische Auge; *s* bezeichnet die Länge der Axe vom Hornhautscheitel bis zur Macula flava; σ den Abstand des zweiten Hauptpunktes des Auges von derselben Macula. Ebenso ist unter „Abstand eines Punktes von der Netzhaut" immer der Abstand dieses Punktes von der Macula flava zu verstehen.

$\varphi_{,}$ und $\varphi_{,,}$ sind die Brennweiten des nicht operirten (15·498, 20·713) und $\psi_{,}$, $\psi_{,,}$ dieselben des aphakischen Auges (23·266, 31.095).

2. Methode:

$$\sigma = \frac{\varphi_{,,}\,(f - d)}{\varphi_{,} + f - d} = \frac{20{\cdot}713\,.\,78{\cdot}7}{63{\cdot}202} = 25{\cdot}792$$

log 20·713	1·31624
log 78·7	1·89597
	3·21221
log 63·202	1·80073
log σ	1·41148; $\sigma =$ 25·792

2·106 (Abstand d. 2. Hauptp.

s = 27·898. von der Cornea).

II. Lage des zweiten Knotenpunktes.

Sein Abstand von der Netzhaut ist gleich der ersten Brennweite des corrigirten Auges; also:

$$F_1 = \frac{\varphi_{,} f}{\varphi_{,} + f - d} = \frac{15{\cdot}498 \,.\, 66{\cdot}7}{63{\cdot}202} = 16{\cdot}356$$

log 15·498	1·19027
log 66·7	1·82413
	3·01440
log 63·202	1·80073
log F_1	1·21367; F_1 = 16·356.

Der zweite Knotenpunkt liegt nach vorgesetztem Glas 16·356 *mm* vor der Netzhaut.

Zieht man 7·321 (Abstand des zweiten Knotenpunktes von der Hornhaut) von der Axenlänge ab, so erhält man den Abstand des zweiten Knotenpunktes von der Netzhaut im nicht corrigirten Auge, — also: 27·898 — 7·321 = 20·577; der Knotenpunkt wurde daher durch das Glas der Netzhaut näher gerückt.

III. Bildverkleinerung durch Vorsetzen des Concavglases. (Nach Mauthner S. 171.)

Es verhält sich die Netzhautbildgrösse im nicht corrigirten Auge zu der im corrigirten, wie die respectiven Abstände des zweiten Knotenpunktabstandes von der Netzhaut; daher

$$q = \frac{\text{Bildgrösse im corr. Auge}}{\text{Bildgr. im nicht corr. Auge}} = \frac{16{\cdot}356}{20{\cdot}577} = \begin{matrix} 0{\cdot}7948 \text{ linear} \\ 0{\cdot}6318 \text{ quadrat.} \end{matrix}$$

log 16·356	2·21367 — 1
log 20·577	1·31338
log q	0·90029 — 1; q = 0·7948
	q^2 = 0·6318

Dasselbe Auge im aphakischen Zustande.

v. Hippel brauchte zur Ferncorrection desselben Auges im aphakischen Zustand + 4·5 D.

I. Axenlänge.

Data.

$Z = +4{\cdot}5\,D$

$f = 222$

$\psi_{,} = 23{\cdot}266$

$\psi_{,,} = 31{\cdot}095$

$d = 12$

$f - d = 212$

$$s = \frac{\psi_{,,}\,(f - d)}{\psi_{,} + f - d} = \frac{31{\cdot}095\,.\,210}{233{\cdot}27} = 27{\cdot}993$$

log 31·095	1·49269
log 210	2·32222
	3·81491
log 233·27	2·36786
log s	1·44705; $s = 27{\cdot}993$

II. Lage des zweiten Knotenpunktes.

$$F_1 = \frac{\psi_{,}\,f}{\psi_{,} + f - d} = \frac{23{\cdot}266\,.\,222}{233{\cdot}27} = 22{\cdot}142$$

log 23·266	1·36672
log 222	2·34635
	3·71307
log 233·27	2·36786
log $F_{,}$	1·34521; $F_{,} = 22{\cdot}142$

daher:

$$Q = \frac{\text{Bildgr. im aph. corr. Auge}}{\text{Bildgr. im myop. „ „}} = \frac{22{\cdot}142}{16{\cdot}356} = \begin{matrix} 1{\cdot}3537 \text{ linear} \\ 1{\cdot}8226 \text{ quadr.} \end{matrix}$$

log 22·142	1·34521
log 16·356	1·21368
	0·13153, $Q = 1{\cdot}3537$, $Q^2 = 1{\cdot}8226$.

Es ist somit die durch die Correction des aphakischen Auges hervorgerufene Vergrösserung des Netzhautbildes, gegenüber der Grösse, die durch das Concavglas (vor der Operation) erzeugt worden ist, in diesem Fall gleich 1·357; diese Zahl bedeutet die lineare Vergrösserung des Bildes, das heisst: sie zeigt, wie vielmal das Bild länger ist.

Dagegen beträgt die Flächen- (quadratische) Vergrösserung 1·8326, da Netzhautbilder Flächen und nicht Linien vorstellen; diese Zahl bedeutet mit anderen Worten: eine wie vielmal grössere Fläche das Bild bedeckt,

und folglich, wie vielmal mehr lichtempfindende Elemente der Netzhaut vom Licht getroffen werden.

Einer besonderen Besprechung bedarf noch der aus der Berechnung der Axenlänge des Vollauges und der Axenlänge desselben aphakischen Auges sich ergebende Längenunterschied; in diesem Falle haben wir gefunden:

$s = 27{\cdot}898$ *mm* beim Vollauge, und

$s = 27{\cdot}993$ *mm* beim aphak. Auge.

Da die Operation die Länge des Auges nicht ändert, sollte s in beiden Fällen natürlich gleich sein; doch kommt dies kaum jemals vor, — oft ergeben sich sogar beträchtliche, 1 und mehrere *mm* ausmachende Unterschiede. Woher kommt dies? $\varphi_{,}$, $\varphi_{,,}$, $\psi_{,}$, $\psi_{,,}$ und d bleiben sich gleich; wir kommen daher zum Schlusse, dass die Unterschiede in nachstehenden Gründen ihre Ursachen haben.

1. Die Hauptursache liegt darin, dass es nicht möglich ist, Convex- und Concavgläser zu besitzen, deren Brennweite alle denkbaren Längen bis zum Unterschiede von 1 oder 2 *mm* haben. Beispielsweise enthalten alle unsere Brillenkästen nachstehende Stufen von den stärkeren Gläsern: 15, 16, 18, 20 D.; wenn aber die Berechnung ergibt, dass man zur Correction ein Glas — 19·35 D. brauchen würde, dann wählt man zwischen — 18 D. und — 20 D., — demjenigen Glas, welches der Patient als das bessere angibt. Die Differenz aber zwischen — 19·35 D., und — 18 oder — 20 D. fällt bei Berechnungen schwer in die Wagschale.

2. Ein genaues Abmessen von d (des Abstandes der Glaslinse vom 1. Hauptpunkte) nach dem blossen Augenmaass ist nicht möglich; leicht wird da um 1, selbst 2 *mm* gefehlt, da wir mit keinem Mikrometer messen können.

3. Ungenaue Angaben der Patienten; wir sind nämlich meist darauf angewiesen, dasjenige Glas zur Correction zu nehmen, mit welchem die Myopen angeblich besser sehen; nun sind die Operirten nicht immer hinlänglich intelligent, um mit Sicherheit angeben zu können, mit welchem Glas

sie wirklich besser sehen; ein anderesmal ziehen sie wissentlich das schwächere Glas vor, da sie glauben, das reinere Sehen sei ihnen schädlich.

4. Häufig ist die Numerirung der Gläser nicht genügend genau; es ist nämlich schwer, sie so zu schleifen, dass die Länge der Brennweite auf 1 *mm* stimme.

5. Der Rechnung liegt die weitere, gewiss nicht immer und fast niemals mit aller Strenge richtige Annahme zu Grunde, dass die Krümmung der Hornhaut durch die Operation keine Änderung erfahren habe.

2. Beispiel.

Schweigger's Fall Nr. 1. Vor der Operation war Myopie 20 D., nach derselben Myopie 1 D. Abstand des Correctionsglases vom 1. Hauptpunkt = 3 *mm.*

I. Axenlänge.

Data.

$z = -20$ D.

$f = -\frac{1000}{20} = -50$

$d = 3$

$f - d = -53$

$r = d - f = +53$

$r - \varphi_, = 37{\cdot}502$

1. Methode.

$$l_{,,} = \frac{\varphi_, \varphi_{,,}}{r - \varphi_,} = \frac{15{\cdot}498 \,.\, 20{\cdot}713}{37{\cdot}502} = 8{\cdot}56$$

$log\ \varphi_, \varphi_{,,}$	2·50651
log 37·502	1·57405
$log\ l_{,,}$	0·93246;

$l_{,,} = 8{\cdot}56$

schem. Axe = 22·819

Axe des Auges 31·379 = s.

2. Methode.

$$\sigma = \frac{\varphi_{,,}(f - d)}{\varphi_, + f - d} = \frac{20{\cdot}713 \,.\, 53}{37{\cdot}502} = 29{\cdot}273$$

log 20·713	1·31624
log 53	1·72428
	3·04052
log 37·502	1·57405
$log\ \sigma$	1·46647;

$\sigma = 29{\cdot}273$

2·106 Abstand $H_{,,}$ v. Cornea.

$s = 31{\cdot}379$

II. Berechnung des zweiten Knotenpunktes.

$$F_{,} = \frac{\varphi_{,} f}{\varphi_{,} + f - d} = \frac{15{\cdot}498 \,.\, 58}{37{\cdot}502} = 20{\cdot}663$$

log 15·498	1·19028
log 50	1·69897
	2·88925
log 37·502	1·57405
log $F_{,}$	1·31520;

$F_{,} = 20{\cdot}663$ (Abst. $K_{,,}$ von der Netzhaut).

Die Lage des zweiten Knotenpunktes im corrigirten Auge kann man noch nach einer zweiten Methode bestimmen, indem man die Länge desjenigen Stückes bestimmt, um welches $K_{,,}$ zur, oder von der Retina verschoben wird.

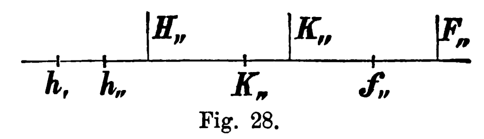


Fig. 28.

Die kleinen Buchstaben $h_{,}$ $h_{,,}$ $k_{,}$ $k_{,,}$ $f_{,,}$ bezeichnen den Ort der Cardinalpunkte vor dem Vorsetzen des Glases. Dieselben grossen Buchstaben zeigen den Ort derselben Cardinalpunkte nach Vorsetzung des Glases.

Wir suchen den Abstand des zweiten Knotenpunktes vom zweiten Hauptpunkt im unbewaffneten Auge, d. h. die Strecke $h_{,,}\, k_{,,}$. Die Figur 28 zeigt, dass

$$h_{,,}\, k_{,,} = h_{,,}\, f_{,,} - k_{,,}\, f_{,,}$$

Nun ist $h_{,,}\, f_{,,}$ gleich der zweiten Brennweite $\varphi_{,,}$, die Strecke $k_{,,}\, f_{,,}$ ist der Abstand des zweiten Knotenpunktes vom zweiten Brennpunkt, also bekanntlich gleich der ersten Brennweite $\varphi_{,}$. Somit

$$h_{,,}\, k_{,,} = \varphi_{,,} - \varphi_{,}.$$

Bezeichnen $F_{,,}$ und $F_{,}$ die Brennweite des aus Auge und Glas combinirten Systems, so ist genau aus demselben Grunde

$$H_{,,}\, K_{,,} = F_{,,} - F_{,}.$$

Der Abstand des vorgeschobenen zweiten Hauptpunktes $H_{,,}$ vom früheren zweiten Hauptpunkt $h_{,,}$ ist die Strecke $h_{,,}\ H_{,,}$, welche wir $H_{,,}$ nennen wollen; den Abstand des verschobenen $K_{,,}$ vom früheren $k_{,,}$, also die Strecke $k_{,,}\ K_{,,}$ nennen wir V.

Der Anblick der Figur zeigt, dass

$H_{,,}\ K_{,,} + V = H_{,,}\ h_{,,} + h_{,,}\ k_{,,}$, oder

$F_{,,} - F_{,} + V = H_{,,} + \varphi_{,,} - \varphi_{,}$, daraus

$V = (\varphi_{,,} - \varphi_{,}) - (F_{,,} - F_{,}) + H_{,,}$. Nach Einsetzung der Werte für $F_{,,}$, $F_{,}$, $H_{,,}$ findet man

$$V = \frac{\varphi_{,} (\varphi_{,,} - \varphi_{,} + d)}{\varphi_{,} + f - d}$$

Die Verschiebungen gegen die Netzhaut hin gelten als negativ; die Verschiebungen von der Netzhaut weg (wie in der Figur angenommen wurde) gelten als positiv.

Auf das zweite Beispiel angewendet, berechnet man die Verschiebung, V, nachstehend:

$$V = \frac{\varphi_{,} (\varphi_{,,} - \varphi_{,} + d)}{\varphi_{,} + f - d} = \frac{15{\cdot}498\ .\ 8{\cdot}215}{37{\cdot}502} = 3{\cdot}395$$

log 15·498	1·19027
log 8·215	0·91401
	2·10488
log 37·502	1·57405
log V	0·53083; $V = 3{\cdot}395$.

Im nicht corrigirten Auge ist $K_{,,}$ $s - 7{\cdot}321 - 24{\cdot}058$ *mm* von der Retina entfernt; im corrigirten ist $K_{,,}$ um 3·395 gegen die Netzhaut hin gerückt, daher $24{\cdot}058 - 3{\cdot}395 = 20{\cdot}663$; dies stimmt mit der vorhergehenden Berechnung von $F_{,}$ überein.

III. Berechnung der Bildverkleinerung.

Wenn man von der Axenlänge den Abstand $K_{,,}$ von der Hornhaut abzieht, so erhält man die Entfernung des $K_{,,}$ im nicht corrigirten Vollauge; also:

$$K_{,,} = 31{\cdot}379 - 7{\cdot}321 = 24{\cdot}058$$

$$q = \frac{\text{Bildgr. im myop. corr. Auge}}{\text{Bildgr. im myop. nicht corr. Auge}} = \frac{20{\cdot}663}{24{\cdot}058} = 0{\cdot}8431$$

log 20·663	1.31520
log 24·058	1·38933
$log\ q$	0·92587 — 1; $q = 0{\cdot}8431$.

Dasselbe Auge im aphakischen Zustand.

I. Axenlänge.

Data:

$z = -1$ D

$$f = -\frac{1000}{1} = -1000$$

$$s = \frac{\phi_{,,}(f-d)}{\phi_{,} + f - d} = \frac{31{\cdot}095\ .\ 1003}{979{\cdot}734} = 31{\cdot}833.$$

$d = 3$

$f - d = -1003$

log 31·095	1·49269
log 1003	3·00130
	4·49399
log 979·734	2·99111
$log\ s$	1·50288; $s = 31{\cdot}833$.

Die Länge der Axe des aphakischen Auges stimmt in diesem Fall mit der des Vollauges überein.

II. Lage des zweiten Knotenpunktes.

$$F_{,} = \frac{\phi_{,} f}{\phi_{,} + f - d} = \frac{23{\cdot}266\ .\ 1000}{979{\cdot}734} = 23{\cdot}75$$

log 23266	4·36672
log 979·734	2·99111
$log\ F_{,}$	1·37561;

$$F_{,} = 23{\cdot}75$$

$K_{,,}$ ist im corrig. aphak. Auge von der Netzhaut 23·77 *mm* entfernt.

III. Vergrösserung des Bildes im aphak. corrig. Auge im Verhältnis zu dem im corrig. nicht oper. Auge.

$$Q = \frac{\text{Bildgr. im aph. corr. Auge}}{\text{Bildgr. im corr. nicht oper. Auge}} =$$

$$= \frac{23 \cdot 77}{20 \cdot 663} = 1 \cdot 1493 \text{ lineare Vergr.}$$

$$Q^2 = 1 \cdot 321 \quad \text{quadr. Vergr.}$$

$$\begin{array}{lll} \log 23 \cdot 75 & = & 1 \cdot 37561 \\ \log 20 \cdot 663 & = & 1 \cdot 31519 \\ \hline \log Q & = & 0 \cdot 06042; \\ Q & = & 1 \cdot 1493 \end{array}$$

3. Beispiel.

Fall 4, Geheimrath v. Hipel's. Vor der Operation Myopie 15 D., nach derselben Hypermetropie 1·5 D.; Entfernung des Correctionsglases vom 1. Hauptpunkt 12 *mm*.

I. Axenlänge.

$$z = -15 \text{ D.}$$

$$f = -\frac{1000}{15} = -66 \cdot 7$$

$$\sigma = \frac{\varphi_{\prime\prime}(f-d)}{\varphi_{\prime} + f - d} = \frac{20 \cdot 713 . 78 \cdot 7}{63 \cdot 202} = \begin{array}{r} 25 \cdot 792 \\ 2 \cdot 106 \\ \hline s = 27 \cdot 898 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} d & = & 12 \\ f-d & = & -78 \cdot 7 \\ r & = & 78 \cdot 7 \end{array}$$

$$\text{oder } l_{\prime\prime} = \frac{\varphi_{\prime}\,\varphi_{\prime\prime}}{r - \varphi_{\prime}} = \frac{15 \cdot 498 . 20 \cdot 713}{63 \cdot 202} = \begin{array}{r} 5 \cdot 079, \text{ dazu} \\ 22 \cdot 819 \\ \hline s = 27 \cdot 898 \text{ mm.} \end{array}$$

II. $K_{\prime\prime}$.

$$F_{\prime} = \frac{\varphi_{\prime} f}{\varphi_{\prime} + f - d} = \frac{15 \cdot 498 . 66 \cdot 7}{63 \cdot 202} = 16 \cdot 356.$$

III. Verkleinerung des Bildes.

$$q = \frac{\text{Bild im myop. corr. Auge}}{\text{Bild im nicht corr. Auge}} = \frac{16{\cdot}356}{20{\cdot}577} = 0{\cdot}7946 \text{ linear}$$

$$q^2 = 314 \text{ quadr.}$$

Dasselbe Auge aphakisch.

z (Correctionsglas) + 1·5 D

$f \quad = 667$

$d \quad = 12$

$f - d = 655$

1. Axenlänge.

$$s = \frac{\psi_{,,} (f-d)}{\psi_{,} + (f-d)} = \frac{31{\cdot}095 \,.\, 655}{678{\cdot}266} = 30{\cdot}027.$$

II. $K_{,,}$.

$$F_{,} = \frac{\psi_{,} f}{\psi_{,} + f - d} = \frac{23{\cdot}266 \,.\, 667}{678{\cdot}266} = 22{\cdot}879.$$

III. Vergrösserung des Bildes.

$$Q = \frac{\text{Bildgr. im aphak. corr. Auge}}{\text{Bildgr. im myop. corr. Auge}} = \frac{22{\cdot}879}{16{\cdot}379} = 1{\cdot}3988 \text{ linear}$$

$$Q^2 = 1{\cdot}9567 \text{ qu.}$$

4. Beispiel.

Vossius operirte einen Mann, welcher am rechten Auge Myopie 30 D. hatte; nach der Operation ist Myopie 1·5 D. zurückgeblieben; am linken Auge war Myopie 25 D.; Abstand des Glases von $H_{,} = 3$ *mm*.

Data.

I. Axenlänge.

$z = -30$ D.

$f = -33{\cdot}3$

$d = \quad 3$

1. Methode.

$$l_{,,} = \frac{\varphi_{,} \varphi_{,,}}{r - \varphi_{,}} = \frac{15{\cdot}498 \,.\, 20{\cdot}713}{20{\cdot}802} = 15{\cdot}432$$

$$\begin{array}{r} 22{\cdot}819 \\ \hline s = 38{\cdot}251 \; mm \end{array}$$

$f - d = -36{\cdot}3$

$r \quad = +36{\cdot}3$

$r - \varphi_{,} = 20{\cdot}802$

$\log \varphi_{,} \varphi_{,,} = 2{\cdot}50651$

$\log 20{\cdot}802 = 1{\cdot}31810$

$\log l_{,,} = 1{\cdot}18841;\; l_{,,} = 15{\cdot}432.$

2. Methode.

$$\sigma = \frac{\varphi_{,,} (f - d)}{\varphi_{,} + f - d} = \frac{20{\cdot}713 \,.\, 36{\cdot}3}{20{\cdot}802} = 36{\cdot}145$$

36·145 (σ)
+ 2·106 (Abstand $H_{,,}$ von d. Cornea)
s = 38·251 *mm*.

II. Lage des $K_{,,}$ im corr. Auge.

$$F_{,} = \frac{\varphi_{,} f}{\varphi_{,} + f - d} = \frac{15{\cdot}498.33{\cdot}3}{20{\cdot}802} = 24{\cdot}81 \; mm \left\{ \begin{array}{l} \text{vor der} \\ \text{Retina.} \end{array} \right.$$

$$\text{Oder } V = \frac{\varphi_{,} (\varphi_{,,} - \varphi_{,} + d)}{\varphi_{,} + f - d} = \frac{15{\cdot}498 \,.\, 8{\cdot}215}{20{\cdot}802} = 6{\cdot}124$$

log 15·498	1·19027
log 8·215	0·91461
	2·10488
log 20·802	1·31810
log V	0·78678; $V = 6{\cdot}124$

Im nicht corr. Auge liegt $K_{,,} = s - 7{\cdot}321 = 30{\cdot}930$ vor der Retina; $K_{,,}$ wird im corr. Auge verschoben zur Netzhaut hin um 6·124, daher $K_{,,} = 24{\cdot}816$ vor der Retina.

III. Verkleinerung des Bildes.

$$q = \frac{\text{Bildgr. d. corr. Auges}}{\text{Bildgr. d. nicht corr. Auges}} = \frac{24{\cdot}81}{30{\cdot}93} = \begin{array}{l} 0{\cdot}8021 \text{ linear} \\ q^2 = 0{\cdot}6434 \text{ quadr.} \end{array}$$

Länge des aphak Auges.

$z = -1{\cdot}5$ D
$f = -666{\cdot}7$
$d = 3$
$f - d = -669{\cdot}7$

$$s = \frac{\psi_{,,} (f - d)}{\psi_{,} + (f - d)} = \frac{31{\cdot}095 \,.\, 669{\cdot}7}{646{\cdot}434} = 32{\cdot}214.$$

Frage: Wenn dieser Myope eine Brille in 12 *mm* Distanz vom ersten Hauptpunkte tragen wollte, welches Glas müsste er zur Correction für die Ferne haben?

Man berechnet dies nach der Formel $f = d - r$; $r = 36{\cdot}3$ *mm*, d. h. der Fernpunktabstand vom 1. Hauptpunkte beträgt 36·3 *mm*; daher

$$f = d - r = 12 - 36{\cdot}3 = -24{\cdot}3;$$

eine Brennweite — 24·3 hat das Concavglas — 41 D.; letzteres ist also das gesuchte Glas.

Wenn man aber das Glas in 12 *mm* Entfernung vom Hornhautscheitel halten wollte, dann muss $d = 12 + 1{\cdot}753$ *mm* $= 13{\cdot}753$; also $f = 13{\cdot}753 - 36{\cdot}3 = -22{\cdot}547$. Das Glas, welches die Brennweite — 22·547 hat, ist $\frac{1000}{-22{\cdot}54} = -45$ D. (nicht ganz genau, da — 45 D. der Brennweite — 22·22 *mm*, und — 44 D. jener von — 22·73 *mm* entspricht.

Links war Myopie 25 D.; daher die Axenlänge:

Data:

$z = -25$ D. $\quad l_{,,} = \frac{\varphi_{,}\,\varphi_{,,}}{r - \varphi_{,}} = \frac{15{\cdot}498.20{\cdot}713}{27{\cdot}502} = 11{\cdot}651$

$f = -40$

$d = 3 \qquad\qquad l_{,,} = 11{\cdot}651$

$f - d = -43$ Länge des schem. Auges: $= 22{\cdot}819$

$s = 34{\cdot}491.$

5. Beispiel.

Myopie allerhöchsten Grades.

Geheimrath Prof. Schweigger operirte eine Dame, welche am linken Auge Myopie 32 D. hatte; Abstand des Glases von der Hornhaut ca. 1 *mm*; nach der Extraction ist Myopie zwischen 13 und 14 D. zurückgeblieben (S. 79).

Axenlänge.

$z = -32$

$f = -31{\cdot}25$

$d = 3$

$f - d = -34{\cdot}25$

$r = 34{\cdot}25$

$$\sigma = \frac{\varphi_{,,}\,(f - d)}{\varphi_{,} + f - d} = \frac{20{\cdot}713.34{\cdot}25}{18{\cdot}752} = 37{\cdot}830$$

$2{\cdot}106$

$s = 39{\cdot}936$

log 20·713	1·31624
log 34·25	1·53466
	2·85090
log 18·752	1·27305
log σ	1·57785; σ = 37·830

Oder: $l_{,,} = \frac{\varphi_{,} \varphi_{,,}}{r - \varphi_{,}} = \frac{15{\cdot}498 . 20{\cdot}713}{18.752} = 17{\cdot}118$

$22{\cdot}819$ { Axe des norm. Auges

$s = 39{\cdot}937$

$log\ \varphi_{,}\ \varphi_{,,}$	2·50651
log 18·713	1·27305
$log\ l_{,,}$	1·23346; $l_{,,} = 17{\cdot}118$.

Dasselbe Auge aphakisch.

$z = 13$ D.
$f = -76{\cdot}9$
$d = 1\ mm$
$f - d = -77{\cdot}9$
$\psi_{,} + f - d = -54{\cdot}634$

$l_{,,} = \frac{\psi_{,} \psi_{,,}}{r - \varphi_{,}} = \frac{23{\cdot}266 . 31{\cdot}095}{54{\cdot}634} = 13{\cdot}24$

$log\ \psi_{,}\ \psi_{,,}$	2·85941
log 54·634	1·73746
$log\ l_{,,}$	1·12195; $l = 13{\cdot}24$

31·095

$s = 44{\cdot}335$

Würde man die Myopie 14 D. annehmen, dann wäre $s = 45{\cdot}75\ mm$.

Am rechten Auge war vor der Operation Myopie 31 D.; nach derselben Myopie 12 D. Hiemit

$z = -31$
$= -\frac{1000}{31} = -32{\cdot}26$
$d = 3$
$f - d = -35{\cdot}26$
$r = 35{\cdot}26$

$\sigma = \frac{\varphi_{,,} . 35{\cdot}26}{19{\cdot}762} = 36{\cdot}957$

2·106

$s = 39{\cdot}063$

Oder $l_{,,} = \frac{\varphi_{,} \varphi_{,,}}{r - \varphi_{,}} = \frac{\varphi_{,} . \varphi_{,,}}{19{\cdot}762} = 16{\cdot}243$, dazu normale Axe

22·819

$s = 39{\cdot}062$.

Die Axenlänge des aphak. Auges:

$z = -12$ D.
$f = -82{\cdot}3$
$d = 3 - 1{\cdot}753 = 1{\cdot}247$,

$l_{,,} = \frac{\psi_{,} \psi_{,,}}{r - \psi_{,}} = \frac{\psi_{,} \psi_{,,}}{61.281} = 11{\cdot}85$

31·095

$s = 42{\cdot}945$

vom Scheitel der Corr.

$f - d = -84 \cdot 547$

$\psi_{,} + f - d = -61 \cdot 281$

$$\text{Oder: } s = \frac{\psi_{,,}(f-d)}{\psi_{,} + f - d} = \frac{31 \cdot 095 \,.\, 84 \cdot 547}{61 \cdot 281} = 42 \cdot 9.$$

6. Beispiel.

Geheimrath Sattler operirte ein Auge mit Myopie 35 D. Correctionsglas 15 *mm* vom Knotenpunkt entfernt. Nach der Operation blieb Myopie 6 D. zurück; dieselbe Distanz des Glases vom Knotenpunkt.

Axenlänge.

$z = -35$ D.

$f = -28 \cdot 57$

$d = 15$ *mm* vom 1. Knotenpunkte, daher $9 \cdot 785$ vom 1. H.

$f - d = -38 \cdot 355$

$\varphi_{,} + f - d = -22 \cdot 857$

$$\sigma = \frac{\varphi_{,,}(f-d)}{\varphi_{,} + f - d} = \frac{20 \cdot 713 \,.\, 38 \cdot 355}{22 \cdot 857} = 34 \cdot 757$$

$$\underline{\quad 2 \cdot 106}$$

$$s = 36 \cdot 863$$

$F_{,} = \dfrac{\varphi_{,} f}{\varphi_{,} + f - d} = \dfrac{15 \cdot 498 \,.\, 28 \cdot 57}{22 \cdot 857} = 19 \cdot 371$; der Abstand $K_{,,}$ von der Netzhaut im nicht corr. Auge ist gleich $s - 7 \cdot 321 = 29 \cdot 542$; im corrigirten $19 \cdot 371$; daher die Bildverkleinerung $q = \dfrac{19 \cdot 371}{29 \cdot 542} = 0 \cdot 655$ linear, und $q^2 = 0 \cdot 429$.

Dasselbe Auge aphakisch.

Axenlänge.

$z = -6$ D.

$f = -166 \cdot 67$

$d = 15 - 6 \cdot 698 = 8 \cdot 032$ vom Hornhautscheitel, d. h. $H_{,}$

$f - d = -174 \cdot 702$

$\psi_{,} + f - d = -151 \cdot 436$

$$s = \frac{\psi_{,,}(f - d)}{\psi_{,} + f - d} = \frac{31{\cdot}095 \, . \, 174{\cdot}7C2}{151{\cdot}436} = 35{\cdot}772$$

$$\text{Oder: } l_{,,} = \frac{\psi_{,}\,\psi_{,,}}{r - \psi_{,}} = \frac{23{\cdot}266 \, . \, 31{\cdot}095}{151{\cdot}436} = \begin{array}{r} 4{\cdot}777 \\ 31{\cdot}095 \\ \hline s = 35{\cdot}872 \end{array}$$

Lage von $K_{,,}$:

$$F_{,} = \frac{\psi_{,} f}{\psi_{,} + f - d} = \frac{23{\cdot}266 \, . \, 166{\cdot}67}{151{\cdot}436} = 25{\cdot}599,$$

daher die Vergrösserung des Bildes im aphak. Auge:

$Q = \frac{25{\cdot}599}{19{\cdot}371} = 1{\cdot}321$ linear, und $Q^2 =$ (die Flächenvergr.) 1·746.

Vergleicht man die Bildverkleinerung im corrigirten, nicht operirten Auge, mit der im corrigirten, operirten, so hat man:

$$q^2 = 0{\cdot}429$$
$$Q^2 = 1{\cdot}746$$

7. Beispiel.

Geheimrath Sattler operirte einen Mann mit M 30 D.; Abstand des Correctionsglases 15 *mm* vom ersten Knotenpunkt. Nach der Operation war Myopie 3·5 D. Man sucht die Axenlänge:

$$z = -30 \text{ D.}$$
$$f = -33{\cdot}33$$
$$d = 9{\cdot}785 \text{ von } H,$$
$$f - d = -43{\cdot}115$$
$$r = 43{\cdot}115$$
$$r - \varphi_{,} = 27{\cdot}61$$

$$l_{,,} = \frac{\varphi_{,}\,\varphi_{,}}{r - \varphi_{,}} = \frac{15{\cdot}498 . 20{\cdot}713}{27{\cdot}617} = \begin{array}{r} 11{\cdot}623 \\ 22{\cdot}819 \\ \hline s = 34{\cdot}442 \end{array}$$

$$\text{Oder: } \sigma = \frac{\varphi_{,,}(f - d)}{\varphi_{,} + f - d} = \frac{20{\cdot}713 \, . \, 43{\cdot}115}{27{\cdot}617} = \begin{array}{r} 32{\cdot}336 \\ 2{\cdot}106 \\ \hline s = 34{\cdot}442 \end{array}$$

Wenn $d = 3$ sein soll, d. h., soll der Myope sein Correctionsglas für die Ferne im Abstande 3 *mm* von $H_{,}$ tragen, so ist dazu ein Glas erforderlich, dessen Brennweite $f = d - r = 3 - 43{\cdot}115 = - 40{\cdot}115$ *mm* hat; also ein Glas von 25 D.

Dasselbe Auge aphakisch.

Axenlänge.

$z = - 3{\cdot}5$ D.
$f = - 285{\cdot}7$
$d = 15 - 6{\cdot}968$ von Hornhautscheitel, daher
$d = 8{\cdot}032$ von $H_{,}$
$f - d = 293.732$
$r = + 293{\cdot}732$
$\varphi_{,} + f - d = - 270{\cdot}466$

$$l_{,,} = \frac{\varphi_{,}\,\varphi_{,,}}{r - \varphi_{,}} = \frac{23{\cdot}266\,.\,31{\cdot}095}{270{\cdot}466} \doteq 2{\cdot}675$$

$log\ \varphi_{,}\,\varphi_{,,}$	2·85941
log 270·47	2·43212
$log\ l_{,,}$	0·42729; $l_{,,} =$ 2·675

31·095
$s = 33{\cdot}77.$

8. Beispiel.

Mauthner (l. c. p. 429) und Donders (Die Anom. d. R. u. Acc., S. 285) erwähnen einer Myopie von $\frac{1}{1''}$. Wie lang ist die Axe?

Bekanntlich beziehen Donders und Mauthner die Ametropien des Vollauges auf den Knotenpunkt des reducirten Auges (S. 284). Der Fernpunkt des erwähnten Auges liegt also, da $1'' = 27{\cdot}1$ *mm* ist, 22·1 *mm* vor der Hornhaut des reducirten, oder $22{\cdot}1 + 1{\cdot}753 = 23{\cdot}853$ *mm* vor dem ersten Hauptpunkt des schematischen Auges.

$$f = -27{\cdot}1$$
$$r = 23{\cdot}853$$
$$r - \varphi_{,} = 8{\cdot}355$$

$$l_{,,} = \frac{\varphi_{,}\varphi_{,,}}{8{\cdot}355} = 38{\cdot}431$$
$$22{\cdot}819, \text{ Helmholtz's Axenlänge}$$
$$s = 61{\cdot}250$$

Nach Mauthner's Vorschrift (l. c. p. 136) berechnet, ergibt sich unter Zugrundelegung des reducirten Auges:

$$l_{,,} = 42{\cdot}25$$
$$20$$
$$s = 62{\cdot}25\,mm \text{ Donders's Axenlänge}$$

Wäre der Fernpunkt 1″ vom ersten Hauptpunkt entfernt, dann hätte man folgende Rechnung:

$$r = 27{\cdot}1 \qquad l_{,,} = \frac{\varphi_{,}\,\varphi_{,,}}{r - \varphi_{,}} = 27{\cdot}669$$
$$r - \varphi_{,} - 11{\cdot}602$$

$log\ \varphi_{,}\,\varphi_{,,}$	2·50652	$l_{,,} =$	27·669
$log\,(r - \varphi_{,})$	1·06453		22·819
$log\ l_{,,}$	1·44199;	$s =$	50·488

Wäre der Fernpunkt 1″ vom Hornhautscheitel entfernt, dann hätte man:

$$r = 28{\cdot}853 \qquad l_{,,} = \frac{\varphi_{,}\,\varphi_{,,}}{r - \varphi_{,}} = 24{\cdot}036$$
$$r - \varphi_{,} = 13{\cdot}355 \qquad 22{\cdot}819$$
$$s = 46{\cdot}855$$

Wenn man endlich die Angabe, Myopie $\frac{1}{1''}$ so auffasst, dass man zur Correction ein Concavglas von 1″ Brennweite 3 *mm* vor dem ersten Hauptpunkt aufgestellt, braucht, dann erhält man

$$f = -27{\cdot}1 \qquad l_{,,} = \frac{\varphi_{,}\,\varphi_{,,}}{14{\cdot}602} = 21{\cdot}983$$
$$d = 3 \qquad 22{\cdot}819$$
$$f - d = -30{\cdot}1 \qquad s = 44{\cdot}802$$
$$r = 30{\cdot}1$$
$$r - \varphi_{,} = 14{\cdot}602$$

9. Beispiel.

Berechnungen bei Hypermetropie.

Ein Mann hat Hypermetropie 5 D.; er trägt Brille + 5 D. in 12 *mm* Distanz. Man sucht die Axe des Auges und die Vergrösserungszahl des Glases.

$z = +\ 5$ D.

$f = +\ 200$ *mm*

$-r = f - d = 188$

$r - \varphi_, = -\ 203{\cdot}498$

$$l_{,,} = \frac{15{\cdot}498\ .\ 20{\cdot}713}{-\ 20{\cdot}498} = -\ 1{\cdot}576$$

$\log\ \varphi_,\ \varphi_,$	2·50652
$\log\ 203{\cdot}498$	2·30877
$\log\ l_{,,}$	0·19775; $l_{,,} = -\ 1{\cdot}576$.

Weil $l_{,,}$ negativ ist, so bedeutet negative Verlängerung, also Verkürzung der Axe der schematischen Axe.

Normale Axe = 22·819

$l_{,,}$ — = — 1·576

s = 21·243

Erlaubt man sich d zu vernachlässigen, weil es im Vergleich zu f klein ist, so hat man

$f = 200$

$r = -\ 200$

$r - \varphi_, = -\ 215{\cdot}498$

$$l_{,,} = \frac{\varphi_,\ \varphi_{,,}}{r - \varphi_,} = -\ 1{\cdot}489$$

22·818

s = 21·330 *mm*

Der zweite Knotenpunkt hat von der Netzhaut den Abstand s — 7·321, also 21·243 — 7·321 = 13·922 *mm*. Durch das Correctionsglas erleidet er eine Verschiebung V:

$$V = \frac{\varphi_,\ (\varphi_{,,} - \varphi_, + d)}{\varphi_, - r} = \frac{15{\cdot}498\ .\ 17{\cdot}215}{203{\cdot}498} = 1{\cdot}311$$

$\log$ 15·498	1·19028
$\log$ 17·215	1·23591
	2·42619
$\log$ 203·498	2·30877
$\log\ V.$	0·11742; $V = 1{\cdot}311$

Da V positiv ist, so bedeutet dies eine Verschiebung von der Netzhaut weg. Der Knotenpunkt — Netzhautabstand im corrigirten Auge ist somit 13·922 + 1·311 = 15·233.

Dasselbe Resultat gibt die Formel:

$$F_1 = \frac{\varphi_, f}{\varphi_, + f - d} = \frac{15{\cdot}498 \,.\, 200}{203{\cdot}498} = 15{\cdot}233$$

Die Bildvergrösserung erhält man:

$$Q = \frac{\text{Bild im corr. hyperm. Auge}}{\text{Bild im nicht corr. hyp. Auge}} = \frac{15{\cdot}233}{13{\cdot}922} = 1{\cdot}094$$

10. Beispiel.

Höchstgradige Hyperemetropie.

Donders schreibt (l. c. p. 243) von einem jungen Manne, welcher zur Correction für die Ferne ein Convexglas $\frac{1}{1^7/_8{}''}$ getragen hat; die Entfernung der Brille vom 1. Hauptpunkt betrug 12 *mm*. Man sucht die Axenlänge, Lage des zweiten Knotenpunktes und die Bildgrösse.

I. Axenlänge.

$$z = \frac{1}{1^7/_8{}''} = \frac{1}{50{\cdot}813}\,mm$$

$$\sigma = \frac{\varphi_{,,}\,(f - d)}{\varphi_, + f - d} = \frac{20{\cdot}713 \,.\, 38{\cdot}813}{54{\cdot}311} = 14{\cdot}802$$

$$\begin{array}{r} 14{\cdot}802 \\ 2{\cdot}106 \\ \hline s = 16{\cdot}908\,mm \end{array}$$

$f =$ 50·813	*log* 20·713	1·31624	
$d =$ 12	*log* 38·813	1·58898	
$f - d =$ 38·813		2·90522	
$r = -$ 38·813	*log* 54·311	1·73489	
	log σ	1·17033;	$\sigma = 14{\cdot}802$

Oder:

$$l_{,,} = \frac{\varphi_,\,\varphi_{,,}}{r - \varphi_,} = \frac{15{\cdot}498 \,.\, 20{\cdot}713}{-\,54{\cdot}311} = -\,5{\cdot}910$$

log $\varphi_,\ \varphi_{,,}$	2·50652	
log 54·302	1·73489	
log $l_{,,}$	0·77163;	$l_{,,} = -\,5{\cdot}91$
	normale Axe $=$	22·819
	$s =$	16·9

II. Lage des $K_{,,}$.

Im nicht corrigirten Auge ist der zweite Knotenpunkt 16·908 — 7·321 = 9·588 *mm* von der Netzhaut entfernt. Im corrigirten Auge:

$$F_{,} = \frac{\varphi_{,} f}{\varphi_{,} + f - d} = \frac{15 \cdot 498 \,.\, 50 \cdot 810}{54 \cdot 311} = 14 \cdot 499$$

III. Bildgrösse.

$$Q = \frac{\text{Bild im corrig. Auge}}{\text{Bild im nicht corr. Auge}} = \frac{14 \cdot 499}{9 \cdot 587} = 1 \cdot 514 \text{ linear}$$

$$Q^2 = 2 \cdot 29 \text{ quadratisch.}$$

Literatur.

1. Donders, Anomalien der Refraction und Accommodation. S. 326.
2. Vossius, Ueber die oper. Behandlung der Myopie, in Deutschmann's Beiträge zur Augenheilk., 18 H., S. 49 (667).
3. Purkinje, Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne, 2 Bändchen, 1825, pag. 5.
   Mauthner, Die optischen Fehler des Auges, S. 511 und 681.
4. Boërhave, Hermann, Praelectiones publicae de morbis oculorum, Göttingen. 1746, 8., und 1750. 8 (spätere Ausgabe), deutsche Uebersetzung von Gabriel Friedrich Clauder, 1759, „Abhandlungen von Augenkrankheiten", 1668—1738.
5. Morgagni, Johann Baptista, „De sedibus et causis morborum, per anatomen indagatis, Libri V, 1761", deutsche Uebersetzung von D. Georg Heinrich Königsdorfer, Altenburg, 1871, „Von dem Sitze der Krankheiten, welche durch Anatomie sind erforscht worden", 1 Buch, S. 610.
6. Richter, August Gottlieb, Anfangsgründe der Wundarzneikunst, in 6 Bänden, Wien, 1790, III. Theil, S. 535.
7. Beer, Lehre der Augenkrankheiten, 1817, II. Th., 669.
8. Petitpiérre's Apparat; dessen Rathgeber für die Erhaltung der Augen, Berlin 1828, 8, S. 83.
   Auch Schmidt's Jahrbücher, 1842, Nr. 1, S. 144; Verhandlungen deutscher Naturforscher in Braunschweig, 1841.
9. Himly, Krankheiten und Missbildungen des menschlichen Auges, II. Theil, Berlin 1843, S. 376.
10. Berthold, Das Myopodiorthotikon oder Apparat, die Kurzsichtigkeit zu heilen, Göttingen 1840, mit Abbildung desselben.
    Auch Ammon's Zeitschrift, Jahrgang III, Heft 3, S. 332.
    Und Meyer Württemberg, med. Correspondenzblatt, 1841, XI, S. 111.
11. Hasner, das Myopodiorthotikon, 1840, S. 49.
12. Baldwin, in Monthly Magazine, 1805, p. 421.
13. Becker, in Hufeland's Journal für prakt. Heilkunde, 1835, S. 5.
14. v. Froriep, Neue Notizen, 1841, Mai, Nr. 383.
15. Casper's Wochenschrift, 1841, Nr. 15.
    Petrequin, in Annal. d'Oculistique, VI, 1.
    Guèrin, Gazette med., 1841, Nr. 12.
    Himly, Krankheiten des Auges, 1843, II. Th., S. 480.

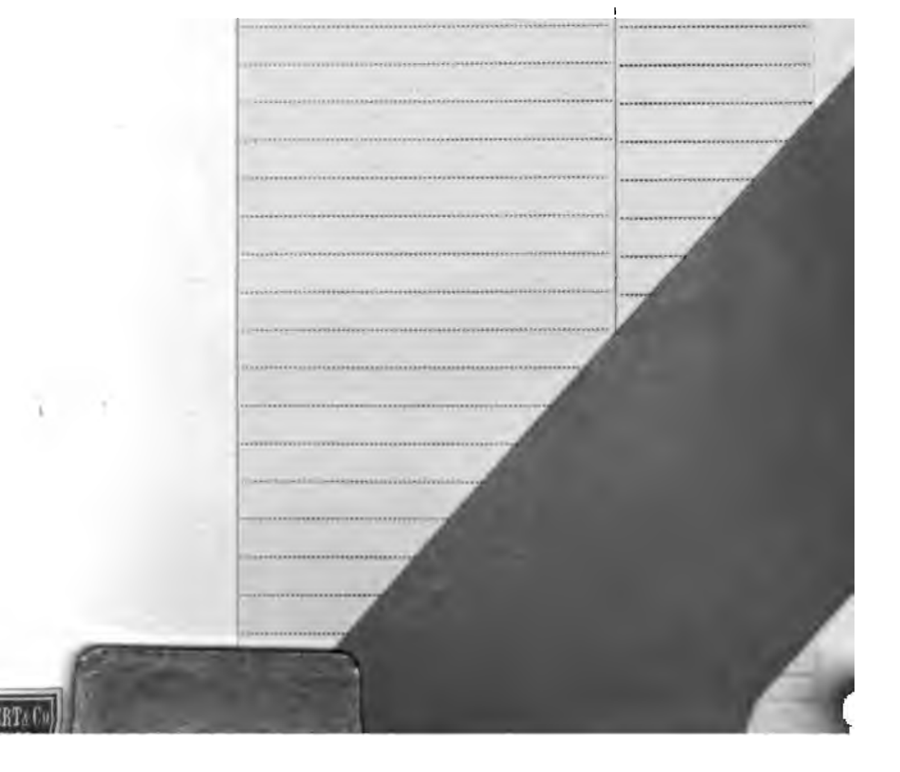
Velpeau, in Annal. de la Chirurg. Français et etrang., 1842, Mai, p. 96.

16. Fukala, Die operative Behandlung höchstgradiger Myopie, v. Graefe's Archiv f. Ophth., XXXVI, II., p. 230.
— Ueber die Verbesserung der Sehschärfe bei höchstgradig myopisch gewesenen Aphaken. Beitrag zur Ursache der höchstgradigen Myopie. Archiv f. Augenheilk. von Knapp-Schweigger, Bd. 24., pag. 191.
— Heilung höchstgradiger Kurzsichtigkeit durch Entfernung der Linse, Wien 1891.
— Berliner klin. Wochenschrift, 1892.
— Sitzungsbericht des Heidelb. Ophthalm. Congresses 1893, p. 191.
17. Galezowski, Etiologie et therapeutique de la myopie, Congrès d'Ophth. de Paris; Annal. d'Oculistique, T. 97, p. 265; auch in Nagel's Jahresbericht XVIII., S. 471.
18. Thier, Sitzungsbericht des Heidelb. Ophth. Congr. 1892.
— Die operat. Correction hochgr. Myopie, Deutsche med. Wochenschrift 1893. S. 717.
— Zur operat. Correction der hochgr. Myop., Wiener klin. Wochenschrift 1894, Nr. 22.
— Bericht des Ophth. Congresses zu Edinburg 1894, S. 173.
19. Bericht des Heidelb. Congresses 1892:
a) Schweigger, Correction der Myopie durch Aphakie, S. 115.
b) Pflüger, Bemerkungen zur operat. Behandlung hochgr. Kurzsichtigkeit, S. 118.
20. v. Schröder, Theodor, Die operative Behandlung der hochgradigen Myopie mittelst Entfernung der Linse, St. Petersburger med. Wochenschrift Nr. 29, 1891.
21. Fukala, Correction hochgradiger Myopie durch Aphakie. Wahl des Operations-Verfahrens mit Rücksicht auf die pathalogisch-anatom. Veränderungen der Chorioidea; Bericht des Ophthalmologen-Congresses zu Edinburg 1894, S. 181; auch Bericht der 67. Versammlung deutscher Aerzte und Naturforscher in Wien 1894.
22. Bericht des Ophth. Congresses zu Heidelberg 1895:
a) A. v. Hippel, Ueber die operative Behandlung hochgradiger Myopie, S. 17.
b) Sattler, dasselbe Thema, S. 25.
23. Valude, Bericht des Ophthalm. Congresses zu Heidelberg 1893, S. 203.
24. Ruiz und König, Recueil d'Ophthalm. 1891, Nr. 11, p. 672, und April-Nummer 1888.
25. Mooren. Die natürlichen und künstlich gereiften Staarformen, 1893, Wiesbaden.
— Die Indicationsgrenzen der Kataraktdiscission, Deutsche med. Wochenschrift 1893, Nr. 36.

26. C. A. Wood, in The american Journal of Ophthalmology 1890, S. 360.
27. Recueil d'Ophthalmologie 1891, S. 681.
28. Vacher, Traitement de la myopie progressive choroïdienne, et prophylaxie du décollement de la rétine par l'extraction du cristallin transparent; Vortrag geh. in der Societé d'Ophthalm. de Paris, 1891; und im Recueil d'Ophthalmologie 1891, S. 671.
29. Nagel's Jahresbericht 1892, S. 405.
St. Petersburger med. Wochenschrift 1894, Nr. 4.
Fukala, Beitrag zur Geschichte der operativen Behandlung der Myopie; im Knapp-Schweigger's Archiv f. A. 296, S. 42.
30. Schweigger, Operative Beseitigung hochgradiger Myopie, deutsche med. Wochenschrift Nr. 20, 1893, S. 466.
— Correction der Myopie durch Aphakie, Klin. Monatsblätter für Aug. 1892, Beilageheft, pag. 115.
31. Max Niebuhr, Beitrag zur Lehre von der operativen Behandlung der Myopie, 1894, Inaugural-Dissert.
32. Fritz Schanz, Ueber die Zunahme der Sehschärfe bei der operativ. Beseitigung hochgr. Kurzsichtigkeit. v. Graefe's Arch. f. O. XLI., 1.
33. Mauthner, Ludwig, Die optischen Fehler des Auges, 1878.
34. W. Schön, Erworbene Brechungsänderungen des Auges, Arch. f. Augenheilk., XXVII., S. 268.
35. Ostwald, F., Einige Worte über Gläsercorrection bei Aphakie, Klin. Monatsbl. f. Augenh., 1891, XXIX., pag. 283.
— Bericht d. Heidelb. Congr. 1895, S. 35.
— Revue générale d'Ophthalmologie, Janvier 1892.
36. F. Dimmer, Zur Gläsercorrection bei Aphakie, Klin Monatsbl. f. Augenheilk. 1891, XXIX., S. 111.
37. Vacher, Correction optique de l'Aphakie, Arch. d'ophthalm. 1892, XII., pag. 452; auch in Annal. d'oculistique, 1892, CVI., pag. 351.
38. Pflüger, Bericht über den IX. intern. Congress in Rom 1894.
39. Hori, Beitrag zur operat. Behandlung der Myopie, Archiv für Augenheilk. 1894, pag. 142.
40. A. v. Hippel, Münch. med. Wochenschrift 1894, Nr. 8.
41. A. v. Hippel, Münch. med. Wochenschrift 1894, Nr. 33.
42. Laqueur, Aphakie, in Eulenburg's Real-Encyklopaedie der ges. Heilk., Bd. II., 3. Aufl., S. 29 und 35.
43. Ed. Pergens, Zur Correction der Kurzsichtigkeit durch Aphakie, klin. Monatsbl. f. A., 1895, Februar.
44. Haab, Bericht d. Ophth. Congresses in Heidelb. 1895, S. 41.
45. Eperon, De la correction operatoire de la myopie forte, Archives d'Ophth., Décembre 1895, pag. 750.

Druck von Rudolf M. Rohrer in Brünn.




E. STECHERT & Co

